

ANNALEN
DER
PHYSIK UND CHEMIE.

BAND CLVII.



ANNALEN
DER
PHYSIK
UND
CHEMIE.

SECHSTE REIHE.

HERAUSGEGEBEN ZU BERLIN
VON
J. C. POGGENDORFF.

SIEBENTER BAND.

NEBST SIEBEN FIGURENTAFELN.



LEIPZIG, 1876.
VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH.

ANNALEN
DER
PHYSIK
UND
CHEMIE.



HERAUSGEGEBEN ZU BERLIN

von

J. C. POGGENDORFF.

HUNDERTSIEBENUNDFUNFZIGSTER BAND.

DER GANZEN FOLGE ZWEIHUNDERTDREIUNDDREISSIGSTER.

NEBST SIEBEN FIGURENTAFELN.



LEIPZIG, 1876.
VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH

7331661

Ergonomics in Design

ANSWER

“SUSTAINABLE DEVELOPMENT”

In h a l t

des Bandes CLVII der Annalen der Physik und Chemie.

Erstes Stück.

Seite

I. Ueber die specifische Wärme der Gase; von E. Wiedemann	1
II. Ueber die akustische Anziehung und Abstofung; von V. Dvořák	42
III. Ueber flüssige Lamellen; von Sondhaus	73
IV. Ueber den Zusammenhang der galvanischen Induction mit den elektrodynamischen Erscheinungen; von E. Edlund	102
V. Mittheilungen aus dem mineralogischen Institut der Universität Straßburg (Fortsetzung)	115
8. Ueber die Elasticität des Steinsalzes; von P. Groth S. 115. — 9. Ueber die Krystallform und die Circularpolarisation des kohlensauren Guanidin; von L. Bodewig S. 122. — 10. Ueber die Krystallform des schwefelsauren und des milchsauren Guanidins; von Demselben S. 125. — 11. Ueber die Circularpolarisation des Matico-Camphers; von C. Hintze S. 127.	
VI. Die Reibungsconstante einiger Salzlösungen und ihre Beziehung zum galvanischen Leitungsvermögen; von O. Grotrian	130
VII. Bemerkungen zu Edlund's Erwiderung auf zwei der unitarischen Theorie der Elektricität gemachte Einwürfe; von W. Weber	146
VIII. Ein neuer Chromatrop; von H. Morton	150

IX. Ueber die thermo-elektrischen Eigenschaften des Kalkspaths, des Berylls, des Idokrases und des Apophyllits; von W. Hankel	156
X. Das Vorkommen des Stickstoffeisens unter den Fumarolen- Producten des Aetna und die künstliche Darstellung dieser Verbindung; von O. Silvestri	165
XI. Ueber die Vergleichung von Distanzen nach dem Augenmaas; von H. Messer	172
XII. Prophezeihung von Regen bei hohem Barometerstand mittelst des Spectroskops; von Piazzi-Smyth	175

(Geschlossen am 24. Januar 1876.)

Zweites Stück.

I. Ueber den Zusammenklang zweier Töne; von R. König .	177
II. Die Reibungsconstanten einiger Salzlösungen und ihre Bezie- hungen zum galvanischen Leitungsvermögen; von O. Gro- trian (Schluss)	237
III. Bemerkungen zu einigen Abhandlungen aus dem Gebiete des Magnetismus und Galvanismus; von G. Wiedemann .	257
IV. Ueber doppelt-brechende Granaten; von A. Wichmann .	282
V. Ueber eine aus 3240 Elementen bestehende Chlorsilber-Bat- terie; von W. de la Rue und H. W. Müller	290
VI. Versuche mit der vorhin beschriebenen Batterie an Geifs- ler'schen Röhren; von Demselben	294
VII. Ueber ein neues Polariskop; von W. G. Adams	297
VIII. Neue Methode zur schnellen Bestimmung des Brechungsin- dexes; von Terquem und Trannin	302

IX. Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der Elektricität in suspendirten Drähten; von W. Siemens 309

X. Die Bedeutung von Drahtnetzen in der Elektricitätslehre; von W. Holtz 322

XI. Ueber Aetzfiguren an Steinsalzwürfeln und über die von F. Exner angewandte Methode zur Erzeugung von Lösungsfiguren; von L. Sohncke 329

XII. Bemerkungen zu L. Hermann's Aufsatz: Ueber schiefen Durchgang von Strahlenbündeln durch Linsen; von H. Krüfs 335

XIII. Notiz über Vocallaute und eine neue natürliche Stimmgabel; von A. Krönig 339

XIV. Notizen zur Geschichte des Princips der Erhaltung der Kräfte; von G. Berthold 342

XV. Ueber die Celsius'sche Thermometerscale 352

(*Geschlossen am 24. Februar 1876.*)

Drittes Stück.

I. Ueber die specifische Wärme des Quecksilbergases; von A. Kundt und E. Warburg 353

II. Experimentelle Untersuchung eines Falls der Arbeitsleistung des galvanischen Stroms; von R. Colley 370

III. Versuche über elektrische Uhren; von J. Brunn 411

IV. Ueber einen Schulapparat zur Bestimmung des mechanischen Wärme-Aequivalents; von J. Pulu 437

V. Ueber die Polarisationsdrehung des Quarzes; von J. Soret und E. Sarasin 447

VI. Bemerkungen über die Wärmeleitung der Gase; von L. Boltzmann 457

	Seite
VII. Notiz zur Theorie der Interferenz-Erscheinungen; von O. Chwolson	469
VIII. Ueber die Tiefe der Bilder bei optischen Apparaten; von H. Krüfs	476
IX. Neue constructive Bestimmung von Bild- und Gegenstandsweiten bei sphärischen Linsen; von C. Bender	483
X. Berichtigung betreffend die angebliche Vorzüglichkeit des Ebonits an Stelle des Glases bei Influenzmaschinen; von W. Holtz	486
XI. Ueber das Verhalten des elektromotorischen Grundgesetzes zum Princip von der Erhaltung der Energie und über eine noch weitere Vereinfachung des ersteren; von R. Clausius	489
XII. Vorlesungsversuche; von M. Rosenfeld	494
XIII. Neue Bestimmungsweise der Sonnen-Parallaxe; von J. G. Galle	495

(Geschlossen am 6. März 1876.)

Viertes Stück.

I. Ueber die Wärmeleitung der Gase; von A. Winkelmann (Zweiter Theil)	497
II. Zur Theorie der Galvanometer; von H. Weber (Fortsetzung und Schluss)	555
III. Ueber elastische Nachwirkung; von F. Neesen	579
IV. Ein Apparat, die Dauer der verzögerten Entladung durch Rotation der Funkenstrecke sichtbar zu machen; von W. Holtz	596

V. Studien aus dem mineralogischen Museum der Universität Kiel (Erste Fortsetzung)	611
5. Beiträge zur Kenntnis des Gypses; von P. Klien S. 611.	
VI. Stimmgabel mit veränderlichem Ton; von R. König	621
VII. Nachtrag zu der Abhandlung: Experimentelle Untersuchung eines Falls von Arbeitsleistung des galvanischen Stroms; von R. Colley	624
VIII. Beantwortung der von W. Weber gemachten Bemerkungen, die unipolare Induction betreffend; von E. Edlund	630
IX. Bereitung der Plateau'schen Glycerinfüssigkeit und deren Anwendung zum Studium der von dünnen Blättchen erzeugten Farbenringe; von A. Terquem	632
X. Ueber die von W. Weber und R. Kohlrausch gegebene Zurückführung der Stromintensitäts-Messungen auf mechanisches Maas; von F. Kohlrausch	641
XI. Bemerkungen zu einer Untersuchung des Hrn. Edlund; von G. Helm	645
XII. Ist Oersted oder Schweigger der Entdecker des Elektromagnetismus? von F. Klein	647
XIII. Beitrag zur Bestimmung des mechanischen Wärmeaequivalentes; von J. Puluj	649
XIV. Modell der schiefen Ebene; von Ernecke	656
XV. Apparat zur Erläuterung des Satzes vom Parallelogramm der Kräfte; von Demselben	659

(Geschlossen am 9. April 1876.)

Nachweis zu den Figurentafeln.

Taf. I. — E. Wiedemann, S. 3.

Taf. II. — Dvořák, Fig. 1, S. 43; Fig. 2, S. 44; Fig. 3, S. 45; Fig. 4, S. 55; Fig. 5, S. 54; Fig. 6, S. 58; Fig. 7, S. 62; Fig. 8, S. 63; Fig. 9, S. 64; Fig. 10, S. 70; Fig. 11, S. 71. — Adams, Fig. 12, S. 298. — Terquem, Fig. 13 u. 14, S. 304; Fig. 15, S. 306.

Taf. III. — Grotian, Fig. 1 u. 1a, S. 133; Fig. 1b, S. 134; Fig. 2, S. 251.

Taf. IV. — König, S. 187 u. 188.

Taf. V. — Brunn, Fig. 1, S. 411; Fig. 2, S. 417; Fig. 3, S. 419; Fig. 4, S. 424; Fig. 5, S. 425; Fig. 6, S. 426; Fig. 7, S. 429, 432 u. 435; Fig. 8, S. 426. — Wichmann, Fig. 9 bis 11, S. 286; Fig. 12, S. 287; Fig. 13, S. 288.

Taf. VI. — Kundt und Warburg, Fig. 1, S. 357; Fig. 2, S. 359; Fig. 3, S. 358; Fig. 4, S. 360. — Puluj, Fig. 5 u. 6, S. 437; Fig. 7, S. 416. — Terquem, Fig. 8, S. 636; Fig. 9, S. 639; Fig. 10, S. 640; Fig. 11, S. 640.

Taf. VII. — Klien, Fig. 1, S. 613; Fig. 2, S. 614; Fig. 3, S. 615; Fig. 4, S. 617; Fig. 5 bis 7, S. 619. — Holtz, Fig. 8, S. 599; Fig. 9, S. 603; Fig. 10, S. 607; Fig. 11 u. 12, S. 609.

Sei
cifico
Gege
word
Hrn.
mitte
licher
Id
Erzie
mit b
lung
so wi
I
die zu
ben w
werde
Regn
erzielte
Abhän
ratur

1) Auf
einzel
in o
cuti
Rela
siqu
Tom
Pogger

DER PHYSIK UND CHEMIE.

BAND CLVII.

 I. *Ueber die specifische Wärme der Gase;*
von Eilhard Wiedemann.

Seit den Arbeiten von Hrn. Regnault über die spezifische Wärme der Gase ist, soweit mir bekannt, dieser Gegenstand nicht von Neuem experimentell behandelt worden. In der That schienen nach den Versuchen des Hrn. Regnault zu derartigen Messungen so grosse Hülfsmittel nöthig zu seyn, wie sie dem Physiker unter gewöhnlichen Umständen nicht zu Gebote stehen.

Ich habe mich bemüht, Methoden aufzufinden, die bei Erzielung einer gleichen Genauigkeit es doch gestatten, mit beschränkteren Mitteln die für die weitere Entwicklung der mechanischen Wärmetheorie und Molecularchemie so wichtigen Bestimmungen auszuführen.

In der vorliegenden ersten Abhandlung soll zunächst die zu den Bestimmungen angewandte Methode beschrieben werden, ferner soll an Messungen für die Luft gezeigt werden, dass sie dieselben Resultate wie die von Hrn. Regnault angewandte ergiebt, sowie, dass die mit ihr erzielte Genauigkeit nicht der von Hrn. Regnault erreichten nachsteht; und endlich soll für einige Gase die Abhängigkeit der specifischen Wärme von der Temperatur untersucht werden¹⁾.

1) Auf eine Kritik der vor Hrn. Regnault angewandten Methoden einzugehen, dürfte kaum nöthig seyn, da dieselben von ihm selbst in der ausführlichsten Weise besprochen und ihre Fehlerquellen diskutirt worden sind. Vergl. die classische Arbeit von Hrn. Regnault: *Rélation des expériences pour déterminer les lois et les données physiques nécessaires au calcul des Machines à feu par M. V. Regnault. Tome second.* Paris 1862.

Bei den definitiven Messungen wandte Hr. Regnault einen Apparat an, der im Wesentlichen aus drei Theilen bestand: dem Aufbewahrungsgefäß für die Gase (Gasometer), dem Erwärmungsapparat und dem Calorimeter.

Als Gasometer benutzte Hr. Regnault einen großen, etwa 30 Liter fassenden Cylinder aus 5 Min. starkem Kupferblech, in welchem die Gase durch eine Druckpumpe comprimirt wurden. Die hierbei verwendeten Drucke betrugen bis zu 9000 Min. Quecksilber von 0° C. Oft wurden Drucke von 3000 Min. und 4000 Min. Quecksilber angewandt. Hierdurch konnten die Gase in genügender Menge und mit der erforderlichen Geschwindigkeit durch den Erwärmungsapparat und das Calorimeter hindurchgetrieben werden. Aus dem Drucke vor und nach dem Versuch ließ sich, da das Volumen des Kupfergefäßes bekannt war, die Menge der ausgetretenen Gase berechnen.

Der Theil des Apparates, der zur Erwärmung der Gase diente, bestand aus einem Oelbade, in dem sich eine Spirale von Messing resp. Platinrohr befand, die 8mm weit und 10 Meter lang war, und die von dem Gase durchströmt wurde. Das Calorimeter endlich bestand aus einer ähnlichen, eigentlich gestalteten, aus dünnen Blechkästchen bestehenden Spirale, die von Wasser umgeben war.

Die Bestimmung der specifischen Wärme erfolgte in der Weise, daß eine bestimmte Menge Gas aus dem Gasometer in dem Erwärmungsgefäß auf eine bestimmte Temperatur erhitzt wurde und dann die hierbei aufgenommene Wärmemenge an das Wasser des Calorimeters abgab. Aus der Temperaturerhöhung des letzteren ließ sich die specifische Wärme des untersuchten Gases durch eine später noch zu erörternde Berechnung leicht ermitteln.

Um richtige Werthe für die specifische Wärme zu erhalten, war es vor Allem nöthig, daß das Gas vollkommen die Temperatur des Erwärmungsgefäßes annahm und seine Wärme im Calorimeter vollkommen wieder abgab. Dazu mußte die Spirale, durch die das Gas strömte, diesem

eine bedeutende Oberfläche darbieten, also eine beträchtliche Länge besitzen. Es war dies um so mehr nöthig, als die Gase mit einer sehr grossen Geschwindigkeit (bis zu 24 Liter in der Minute) den Apparat durchströmten. Die Länge der Spirale bedingte aber umgekehrt wieder eine bedeutende Größe des Gefäßes, in dem sie vom Wasser umspült wurde.

Die in letzterem enthaltene Wassermasse betrug bei den meisten Versuchen von Hrn. Regnault etwa 660 Grm. eingerechnet den Wasserwerth der Spirale, des äusseren Gefäßes und des Rührers. Damit die Flüssigkeitsmenge eine genügende Temperaturerhöhung zeigte, bedurfte es einer sehr grossen Menge des erhitzten Gases.

Es war demnach die Hauptaufgabe, das Calorimeter zu verkleinern, und doch die Wärmeabgabe des Gases nicht zu beeinträchtigen, d. h. es galt, dem erhitzten Gase auf möglichst kleinem Raume eine möglichst grosse Oberfläche darzubieten.

Es wurde dazu ein zuerst von Ericson bei der Construction seiner Luftmaschine benutztes Verfahren eingeschlagen. Es beruhte dies darauf, das Gas über erhitzte Kupferdrahtnetze hinzuleiten, die demselben eine grosse Oberfläche zur Wärmeaufnahme resp. Abgabe darboten.

Beschreibung des Apparates (Tafel I).

Das Erwärmungsgefäß bestand aus einem kupfernen, hartgelötheten Kasten *M*, von 20 Ctm. Höhe, 18 Ctm. Breite, 21 Ctm. Länge, der an der einen Seite einen trichterförmigen Ansatz *P* hatte. Darin lag ein dünnwandiger, kupferner Cylinder *G*, der einen Durchmesser von 4 Ctm. und eine Länge von 11 Ctm. hatte, und der mit feinen Kupferdrehspählen dicht gestopft war. Das Gas trat durch das Rohr *m n* ein, durch das Rohr *o p* aus. Bis zu dem Punkt *s* bestand das letztere aus Kupfer, der kleine aus dem kupfernen Kasten an der Spitze des trichterförmigen Ansatzes hervorragende Theil *s p* desselben aus Neusilber; er hatte eine Länge von 17^{mm}. Es hatte sich nämlich

gezeigt, daß durch ein kupfernes Ansatzrohr zuviel Wärme aus dem Erwärmungsapparat nach dem Calorimeter übergeleitet wurde. Dadurch erhielt die später noch zu erörternde Correctionsconstante k einen zu erheblichen Werth. In dem Deckel des kupfernen Kastens war das Thermometer befestigt, das zur Bestimmung der Temperatur des in dem Kasten befindlichen Wassers oder Paraffins diente. Der Siedepunkt des Thermometers war direct ermittelt worden. Ueber die Bestimmung der höheren Temperaturen siehe weiter unten. Die Flüssigkeit in dem Kasten wurde durch einen Rührer in fortwährender Bewegung erhalten. Derselbe bestand aus zwei horizontalen starken durchbrochenen Kupferplatten, an die ein Bügel V hart angelöht war, und die einen Zwischenraum zwischen sich ließen, der etwas breiter als der kupferne Cylinder war.

Die Bewegung dieses Rührers wurde durch das Gehwerk einer Thurmuhr vermittelt, an dessen Hauptaxe ein Excenter befestigt war. Eine über Rollen gehende Schnur hob den Rührer etwa 20 Mal in der Minute, der dann durch sein eigenes Gewicht wieder sank. Zwei Tüllen an der Austrittsstelle des Rührers am Deckel bewirkten, daß die von demselben mit in die Höhe gerissene Flüssigkeit stets wieder in den Kasten zurückfloß. Die Temperatur in dem Wasser, resp. Paraffinbade ließ sich durch Regulirung des unter demselben befindlichen Gasbrenners bei der großen Flüssigkeitsmasse recht constant erhalten; sie schwankte höchstens um 1 bis $\frac{1}{2}$ ° während des Versuches.

Das Calorimeter k bestand aus einem äußeren cylindrischen, silbernen Gefäß von etwa 14,5 löthigem Silber, seine Höhe betrug 5½ Ctm., seine Weite 42^{mm} und die Wandstärke 0,35^{mm}. In dasselbe war die Vorrichtung eingelöht, die zur Aufnahme der Wärme aus dem erhitzen Gase dienen sollte. Sie setzte sich aus drei verticalen, silbernen Röhren zusammen, die durch horizontale Röhrchen verbunden sind. Das Gas tritt durch das, in die Wand des Cylinders 8,5^{mm} über dem Boden eingelöthete, horizontale Rohr β (seine Weite betrug 8^{mm}) in das erste

verticale Rohr ein; ging von dem oberen Ende desselben durch ein enges Röhrchen in das zweite verticale Rohr über, von dem es unten in das dritte Rohr übergeföhrt wurde, das es oben durch das engere $2\frac{1}{2}$ mm weite Rohr q wieder verliess.

Bei der Untersuchung von giftigen oder übelriechenden Gasen war das Rohr q mit einem Kautschukschlauch verbunden, der sie nach dem Kamin fortführte.

Die einzelnen Röhren hatten eine Weite von 9 mm und eine Höhe von 41 mm. Sie waren alle dicht mit silbernen Drehspähnen gestopft. Auf das äussere Gefäß setzte sich ein Deckel auf, der dreimal durchbrochen war. Durch eine Oeffnung trat das Rohr q aus, in der zweiten war das Thermometer befestigt, durch die dritte endlich ging der Stiel des Rührers, der zum Mischen der Flüssigkeit im Calorimeter diente. Die Thermometerkugel befand sich zwischen dem ersten und dritten Rohr, der Rührer zwischen dem zweiten und dritten.

Die Nebenfigur stellt einen Querschnitt des Calorimeters in der Höhe des zuführenden Rohres dar. β ist das zuführende Rohr, a , b und c sind resp. das erste, zweite und dritte silberne Rohr, t ist das Thermometer, r der Rührer.

Zwischen den Rand des Deckels und das Gefäß wurde eine Spur Fett gebracht; sonst zieht sich das beim Rühren in die Höhe gehobene Wasser zwischen beiden, hindurch und erzeugt, indem es an dem Silbergefäß verdunstet, Kälte.

Calorimeter und Erwärmungsapparat wurden auf dieselbe Weise, wie es Hr. Regnault gethan, mit einander durch einen Kork verbunden. Derselbe setzt sich luftdicht in das Rohr β ein, in der Mitte hat er eine Durchbohrung, mit der er über den neusilbernen Ansatz des Erwärmungsgefäßes geschoben wird.

Um die Temperatur der Umgebung des Calorimeters während des Versuches constant zu erhalten, wurde es im Innern eines Gefäßes X von Messingblech mit doppelten

Wänden aufgestellt. Dasselbe hatte eine cylindrische Gestalt und besaß eine Höhe von $17\frac{1}{2}$ Ctm., einen Durchmesser von $14\frac{1}{2}$ Ctm. Nach vorn war ein trichterförmiges Stück α ausgespart, so daß eine Oeffnung von 1,3 Ctm. frei blieb. Durch dieselbe ging der Ansatz β am Calorimeter, ohne die Wand desselben zu berühren, hindurch. Am unteren Theile des Gefäßes auf der dem Erwärmungsapparat zugekehrten Seite und auf der von ihm abgewandten Seite oben waren zwei Tüllen befestigt, durch deren erstere aus einem höher stehenden Gefäß Wasser von der Temperatur der Umgebung eintrat, während es aus dem oberen dasselbe verließ.

Um aber auch dieses doppelwandige Gefäß nicht allzusehr vom Erwärmungsapparat aus bestrahlen zu lassen, wurde zwischen beide ein mit Stanniol beklebter Holzschild z gestellt, der in der Mitte eine kreisförmige Oeffnung hatte. Das Calorimeter stand in der Mitte dieses doppelwandigen Gefäßes auf einem vielfach durchbohrten Korb k_1 . Auf das doppelwandige Gefäß wurde ein horizontales, mit Stanniol bekleidetes Brett gelegt, welches ein zweites ebenso bekleidetes verticales Brett trug. Am letzteren war an einem horizontalen Arme eine Rolle angebracht, über welche eine an den Stab des Rührers befestigte dünne Seidenschnur geleitet war; mittelst derselben wurde der Rührer im Calorimeter etwa 40 bis 50 Mal in der Minute gehoben und gesenkt, um dadurch der Flüssigkeit in demselben eine gleichmäßige Temperatur zu geben. Das Thermometer wurde durch eine Gaslampe von hinten beleuchtet, deren Wärmestrahlen durch vier hinter einander aufgestellte Glasplatten abgehalten wurden. Unmittelbar hinter dem Thermometer zur Abhaltung fremden Lichts war noch eine Glasplatte aufgestellt, die so mit Stanniol beklebt war, daß nur ein der Breite des Thermometers entsprechender Raum frei blieb. Das Thermometer war in zehntel Grade getheilt; bei der Ablesung derselben mittelst eines Fernrohrs konnten bequem hundertel Grade geschätzt werden. Die Theilung des Thermometers war

mittelst eines Kathetometers verglichen und für dasselbe eine Correctionstabelle entworfen worden; außerdem hatte eine Vergleichung zwischen 0° und 40° mit einem Normalthermometer der hiesigen meteorologischen Hauptstation stattgefunden.

Zur Aufbewahrung und Fortführung der Gase und zur Messung des Volumens derselben konnte die von Hrn. Regnault vorgeschlagene Vorrichtung wegen ihrer Grösse und der grossen anzuwendenden Drucke nicht benutzt werden. Dagegen ließ sich die von Delaroche und Bérard angewandte Methode in der Weise modifizieren, daß sich mit derselben auch genaue Resultate erhalten ließen.

Delaroche und Bérard trieben bekanntlich die Gase bei ihren Versuchen aus feuchten thierischen Blasen aus, die in einem Glasballon hingen, der mit einem zweiten Ballon communicirte, in den Wasser mit konstanter Geschwindigkeit einströmte. Aus der Menge des hinzgetretenen Wassers bestimmt sich dann die Menge des ausgetretenen Gases. Die thierische Blase wurde durch Kautschuk ersetzt, in dem sich die Gase trocken bewahren lassen.

Der von mir benutzte Apparat hatte somit die folgende Einrichtung:

Ein großer Glasballon *C* war durch einen grossen Kautschukstöpsel luftdicht verschlossen. In diesem waren zwei Glasröhren eingesetzt, eine engere Röhre *g* und eine weitere *ψ*. An der letzteren war unten ein Ballon *Q* von dickem schwarzen Kautschuk, der etwa 20 Liter Gas fasste, luftdicht befestigt. Er war durch einen doppelt durchbrochenen Kautschukstöpsel verschlossen. Durch die eine Oeffnung desselben war ein Glasrohr *i* gesteckt, durch welches das Gas nach dem Erwärmungsapparate strömte; durch die andere dagegen führte ein Glasrohr zu dem Manometer *k*. Es bestand dies aus einem Standgefäß *r*, in das luftdicht die Steinröhre *k* eingesetzt war. Durch einen Hahn *h* konnte die Communication zwischen dem

Ballon *Q* und dem Manometer hergestellt oder unterbrochen werden. An beiden Röhren *g* und *i* waren sehr weite Hähne *T* und *U* mittelst Kautschukschlängchen angesetzt. Von dem Hahn *T* führte ein weiterer Kautschukschlauch zu dem Rohre *f*, welches in dem Stöpsel des zweiten Ballons *B* eingesetzt war. Durch diesen gehen noch zwei Röhren hindurch, von denen die eine zu einem Manometer *e* führt, die andere weitere aber, die bis zum Boden des Ballons reicht, mit einem Hahn *S* versehen ist. Nach Belieben kann dieser Hahn durch einen Kautschukschlauch mit dem aus dem Ballon *A* herunterkommenden Bleirohr *b* verbunden werden. In dem Ballon *A* befindet sich Wasser, das durch das Bleirohr *b* nach unten geleitet wird und zum Austreiben des Gases dient. Der Ballon *A* selbst wird durch die Wasserleitung mit Wasser gefüllt.

Die Verbindungsrohren zwischen *B* und *C* sind so weit, daß auch während des Ausströmens des Gases aus *Q*, der Druck in beiden Gefäßen fast vollkommen gleich bleibt.

Die Manometer *e* und *k* enthalten Wasser, und die Drucke in *Q* und *B* werden an ihnen abgelesen. Da sie mit Wasser und nicht mit Quecksilber gefüllt sind, so können die kleinsten Druckschwankungen auch schon ohne Kathetometer mit Sicherheit erkannt werden. Auch ist nicht zu fürchten, daß das Gas im Ballon *Q* wesentlich feucht wird, da die Communication zwischen *Q* und *r* durch ein ziemlich etwa 40 Ctm. langes, mehrfach gebogenes Glasrohr vermittelt wird; außerdem der Versuch immer nur sehr kurze Zeit gedauert hat.

Der Ballon *B* steht auf einer Brückenwaage *W*, die das Gewicht desselben mit Sicherheit bis zu 5 Grm. zu bestimmen gestattet.

Um die Temperatur des aus dem Ballon *Q* austretenden Gases zu messen, wurde dasselbe durch eine Vorrichtung *F* geleitet, die aus zwei so mit einander verbundenen Röhren bestand, daß das Gas zuerst die innere

durchfließt und dort an ein Thermometer seine Wärme abgibt, um dann als schützender, die Wärmestrahlung hindernder Mantel das äussere zu durchströmen. Zum Schutz vor Luftströmungen stand das Gefäß *F* selbst in einem hölzernen Kasten. Um ferner die Stärke des Gasstromes zu verfolgen, wurde noch eine mit Schwefelsäure resp. mit Quecksilber gefüllte Flasche, und um etwa aus dieser mechanisch mitgerissene Schwefelsäure aufzufangen, ein mit Glasperlen gefüllter Glashurm zwischen dem Gefäß *F* und dem Erwärmungsgefäß angebracht.

Ehe zu den Messungen mit dem eben beschriebenen Apparate geschritten werden konnte, mußte vor allen geprüft werden, ob das aus dem Erwärmungsapparat tretende Gas in der That die Temperatur der in demselben befindlichen Flüssigkeit besitzt. Dazu wurde an dem Neusilberfortsatz eine ebensolche Vorrichtung angebracht, wie sie zur Bestimmung der Temperatur des Gases nach dem Verlassen des Kautschukballons diente. Wurden etwa 10 Liter in der Minute durch den bei den Versuchen benutzten Apparat hindurchgetrieben, so zeigte das Thermometer fast genau 100°.

Die Bestimmung der hindurchgegangenen Gasmenge wurde bei diesen Versuchen mittelst einer Gasuhr bewerkstelligt.

Hr. Regnault hat einen andern Weg zur Prüfung der vollkommenen Erwärmung des Gases eingeschlagen. Er brachte in dem letzten Theile der Spirale im Erwärmungsapparat ein Thermometer an. Es hat dieses Verfahren den Nachtheil, daß das Thermometer eine sehr starke Bestrahlung von den Wänden erleidet, die dasselbe nahe auf ihre Temperatur erhitzen. Das jedenfalls nur wenig kühlere Gas wird deshalb auch nur sehr kleine Veränderungen in der Temperatur des Thermometers bedingen.

Um zu prüfen, ob auch die Wärmeabgabe in dem Calorimeter eine vollkommene sey, wurden vergleichende Versuche mit einem Calorimeter angestellt, bei dem statt

der drei mit Silber angefüllten Röhren nur zwei solcher mit Kupfer angefüllte benutzt wurden; die sich für die specifische Wärme ergebenden Zahlen waren innerhalb der Fehlergrenzen gleich. Es ließ sich aber auch nachweisen, daß die Wärmeabgabe schon in der ersten Röhre fast vollkommen stattfand. Dazu wurde nur eine von den erwähnten zwei Röhren mit Kupferdrehspähnen gefüllt, und in die zweite ein mit Kupferdrehspähnen umgebenes Thermometer gesetzt. Das letztere zeigte eine Temperatur an, die kaum von der in der umgebenden Flüssigkeit abwich. Bei der Anwendung von drei Röhren konnte man also einer vollkommenen Wärmeabgabe versichert sein.

Selbst wenn übrigens das Gas nicht genau mit der Temperatur, die das Thermometer im Erwärmungsapparate und im Calorimeter anzeigt, in das letztere eintritt und dasselbe verläßt, so ist der Einfluß auf das Resultat nur ein sehr geringer, da die gesamte Abkühlung des Gases durch die Differenz dieser beiden Temperaturen gegeben ist, und diese Differenz im Minimum 75° C. beträgt.

Beobachtungsmethode.

Bei den Messungen wurde folgendes Verfahren eingeschlagen.

Zunächst wurde aus dem Gasometer oder einem Entwicklungsgefäß der vorher vollkommen entleerte Kautschukballon Q mit den zu untersuchenden gereinigten und getrockneten Gasen gefüllt. Dazu wurde die Verbindung der beiden Ballons B und C gelöst, sowie die Hähne T und U geöffnet. Um den Gasen eine ganz bestimmte Temperatur zu geben, durchströmten sie schon vor ihrem Eintritt in Q einen mit Kupferdrehspähnen gefüllten Cylinder, der mit Wasser von der Temperatur der Luft im Zimmer umgeben war. Das in dem Gefäße F befindliche Thermometer x , an dem sie alsdann vorbeigingen, nahm die Temperatur des in dem Ballon Q eintretenden Gases an. Das Gas verweilte zwischen dem Einleiten und dem Versuche selbst höchstens eine halbe Stunde im

cher
die
der
isen,
fast
den
und
Ther-
an,
wiev.
also

der
arate
und
nur
Gases
geben

inge-

Ent-
Kaut-
und
dung
ne *T*
mmte
ihrem
füllten
Luft
efind-
ngem,
enden
leiten
de im

Ballon. In dieser kurzen Zeit änderte sich die Temperatur der Umgebung, und also auch die des Gases nur wenig; das Thermometer *F* gab also, wenn das Gas zum zweiten Mal beim Austreten an ihm vorüberströmte, sehr nahe die wahre Temperatur des Gases im Ballon an.

Wenn nach Beendigung des Versuchs mit einem Gas ein zweites zur Untersuchung gelangen sollte, so wurde zunächst der Ballon *Q* nur zur Hälfte gefüllt und dann ausgepresst, um möglichst alle fremden Gase aus den Zuleitungsrohren zu entfernen. Erst nachdem dies geschehen, wurde zur definitiven Füllung des Ballons geschritten.

Das Einleiten des Gases wurde so lange fortgesetzt, bis der Ballon *Q* straff gespannt war. Es üben dann die Ballonwände in Folge ihres Gewichts einen Druck von 1 Ctm. Wasser auf das im Innern des Ballon befindliche Gas aus, der sich am Manometer *K* beobachten ließ.

Nachdem der Hahn *U* geschlossen war, wurde zunächst durch denselben Schlauch, der den Ballon *Q* mit dem Entwicklungsgefäß verband, die Verbindung mit dem Calorimeter hergestellt. Hierauf wurde die Verbindung zwischen *B* und *C* hergestellt und der Quetschhahn *E* entfernt. Ferner wurde das Bleirohr *b* mit dem Rohr *c* in dem Ballon *B* verbunden, und der Quetschhahn *D* entfernt und so lange Wasser aus dem Gefäß *A* in das Gefäß *B* hineingelassen, bis die beiden Manometer *k* und *e* den Druck anzeigen, unter dem das Gas ausströmen sollte.

Nach Schließung des Hahnes *S*, Wiederanbringung der Quetschhähne *D* und *E*, Lösung der Verbindung zwischen *A* und *B*, und *B* und *C* wurde der Ballon auf der Brückenwaage *W* gewogen.

Es wurden dann von Neuem die Verbindungen zwischen *A*, *B* und *C* hergestellt, die Quetschhähne *D* und *E* entfernt und der Hahn *T* geöffnet. Dagegen blieben die Hähne *S* und *U* vorläufig geschlossen.

Nachdem das Calorimeter an seine Stelle gebracht war, wurde seine Temperatur abgelesen und zu gleicher Zeit eine mit einer Arretirung versehene Secundenuhr ausge-

löst. Das Fernrohr, durch das die Temperatur im Calorimeter abgelesen wurde, war so aufgestellt, daß während man durch dasselbe sah, man die beiden großen Hähne *U* und *S* mit den Händen öffnen konnte.

Von Minute zu Minnte wurde der Stand des Thermometers im Calorimeter abgelesen. Fünf bis zehn Minuten nach Beginn des Versuches wurden mit der Minute zu gleicher Zeit die beiden Hähne *U* und *S* geöffnet, und dadurch das zu untersuchende Gas durch Erwärmungsgefäß und Calorimeter getrieben. Durch passende Regulirung der Stellung des Hahnes *S* ließ sich mit Leichtigkeit eine constante Stellung des Manometers *k* und *e* erreichen. Es stand dann das Gas in *Q* während des ganzen Versuches unter ein und demselben Druck, und durchströmte deshalb mit constanter Geschwindigkeit das Calorimeter. Während das Gas durch das Calorimeter floß, wurde, um den gleichförmigen und regelmäßigen Verlauf des Versuches verfolgen zu können, von Minute zu Minute die Temperatur des Calorimeters abgelesen. Sobald die Temperaturerhöhung eine bestimmte Größe erreicht hatte (sie betrug zwischen 5° und 12°), so wurde durch plötzliches Schließen der Hähne *U* und *S* zu gleicher Zeit der Gasstrom und Wasserzufluß unterbrochen, und die Uhr abgelesen. Dann wurde zunächst von 10 zu 10 Secunden, später von Minute zu Minute, während 5 bis 10 Minuten die Temperatur beobachtet. Eine regelmäßige Temperaturerhöhung mit der Zeit stellte sich meist schon mit der zehnten, resp. zwanzigsten Secunde nach der Schließung der Hähne ein; eine nur so kurze Zeit brauchten die erhitzten Silberspähne, um sich mit dem Wasser des Calorimeters ins Temperaturgleichgewicht zu setzen. Diese Zeit war natürlich um so größer, je höher die Temperatur der eintretenden Gase war, da dann auch die zunächst der Eintrittsöffnung liegenden Silberspähne eine grösere Temperaturerhöhung erlitten.

Unmittelbar vor und nach dem Versuche wurde auch die Temperatur des Erwärmungsgefäßes abgelesen. Die

zwischen beiden in der Mitte liegende Temperatur wurde als die während des Versuches vorhandene angenommen.

Während des ganzen Versuches strömte durch das doppelwandige Gefäß Wasser von der Temperatur der Luft im Zimmer. Seine Temperatur wurde vor dem Eintritt in *X* und nach dem Verlassen von *X* abgelesen. In Folge der trotz des Holzschildes vorhandenen Bestrahlung erleidet dasselbe eine kleine Temperaturerhöhung; während dem es sich in *X* befindet, wurde die mittlere der beiden beobachteten Temperaturen bei den Correctionsberechnungen verwendet.

Nach Entfernung der Verbindungen zwischen *A*, *B* und *C* wurde wiederum das Gewicht des Ballons *B* bestimmt; es hatte dasselbe seit Beginn des Versuches um die Menge des eingetretenen Wassers zugenommen. Da aber während des Versuchs Temperatur und Druck in den beiden Ballons *B* und *C* constant geblieben waren, so entsprach das durch das Gewicht bestimmte Volumen des eingetretenen Wassers genau dem des aus dem Kautschukballon ausgetretenen Gases; dabei ist es gleichgültig, ob während des Versuches eine Diffusion durch den Kautschukballon stattgefunden hat oder nicht; dadurch hätte nur das Gas in letzterem verunreinigt werden können. Es ergab aber eine directe Prüfung der Gase im Kautschukballon bei Anwendung von Kohlensäure und Ammoniak, dass sie nur Spuren von Luft erhielten. Eine Reduction des Volumen des Wassers, das nicht die Temperatur von 4° C. besaß, auf diese Temperatur erwies sich ihrer Kleinheit wegen als unnöthig.

Zur Berechnung des Gewichtes des ausgetretenen Gases war es noch nöthig, den Druck und die Temperatur desselben zu kennen. Letztere ergab sich, wie bereits früher angeführt, aus der Ablesung des Thermometers in *F*. Ersterer setzt sich aus zwei Theilen zusammen; einmal aus dem augenblicklichen atmosphärischen Druck, und dann aus dem durch das Manometer *k* angezeigten Druck. Der auf 0° C. reducirete augenblickliche Barometerstand sey *B*, der Druck, den das mit Wasser oder einer andern

Flüssigkeit gefüllte Manometer k zeigt, sey auf Quecksilber reducirt p . Die Temperatur des Gases sey x , so ist, wenn v das beobachtete Volumen des Gases ist, das auf 760 Mm. Barometerstand und 0° reducirete Volumen

$$v_0 = \frac{p + B}{760} \cdot \frac{273.2}{273.2 + x} v.$$

Bezeichnet ferner σ das specifische Gewicht des Gases in Bezug auf Luft, so ist, da das specifische Gewicht der Luft bei 0° und 760 Mm. in Bezug auf Wasser $\frac{1}{773.3}$ ist, das Gewicht des Volumen v des Gases

$$G = \frac{v_0 \cdot \sigma \cdot 1}{773.3} = \frac{p + B}{760} \cdot \frac{273.3 \cdot \sigma}{(273.3 + x)} \cdot \frac{v}{773.3}.$$

Ist W endlich das Gewicht des während des Versuchs in den Ballon eingetretene Wassers in Kilogrammen ausgedrückt, und nehmen wir als Einheit des Volumen das Liter, so ist

$$G = \frac{p + B}{760} \cdot \frac{273.3 \cdot \sigma}{(273.3 + x)} \cdot \frac{W}{773.3}.$$

Zur Berechnung der specifischen Wärme brauchen wir aber außer dem Gewichte des Gases auch noch das der Flüssigkeit im Calorimeter, sowie den Wasserwerth des letzteren. Das Gewicht der Flüssigkeit wurde vor jedem Versuch durch eine Wägung bestimmt. Es schwankte zwischen 59 und 61 Gr. Den Wasserwerth des Calorimeters bestimmte man durch Rechnung. Das zur Herstellung des Silbergefäßes benutzte Silber hatte eine specifische Wärme von 0,0607. Das Gewicht des Gefäßes betrug 80,122 Grm., es war demnach sein Wasserwerth 5,07. Der Wasserwerth des in das Calorimeter eintauchenden Theils des Thermometers, dessen Dimensionen bestimmt wurden, betrug 0,3944. Der gesammte Wasserwerth des Calorimeters entsprach also 5,4644. Da der Wasserwerth der Thermometers sehr klein ist, so ist ein kleiner Fehler in der Bestimmung dieser Größe ohne wesentlichen Einfluß auf das Endresultat.

Die Temperaturerhöhung, die wir an dem Thermometer im Calorimeter beobachten, führt nicht allein von der

von dem erhitzen Gase abgegebenen Wärmemenge her, und kann nicht unmittelbar zur Bestimmung der specifischen Wärme desselben benutzt werden, sondern wir müssen noch einige Correctionen an derselben anbringen, die daher kommen, daß durch den neusilbernen Ausatz Wärme aus dem Erwärmungsgefäß durch Leitung zu dem Calorimeter übergeführt wird, und daher, daß Wärme durch Strahlung dem Calorimeter zugeführt oder von demselben fortgeführt wird.

Daß durch die Reibung der Gase an den Silberspähnen im Calorimeter keine merkliche Wärmemenge erzeugt wurde, war folgendermaßen ermittelt worden. Calorimeter und Erwärmungsgefäß wurden mit Wasser von der Temperatur der umgebenden Luft gefüllt und dann Luft mit derselben Geschwindigkeit, wie bei den Versuchen selbst, durch den Apparat geleitet. Das Quecksilber des Thermometers im Calorimeter behielt unverändert seine Stellung bei.

Von der Wärmemenge¹⁾), die dem Calorimeter durch Leitung zugeführt wird, nehmen wir an, daß sie während des ganzen Versuches für jede Zeiteinheit constant sey, und bezeichnen die Temperaturerhöhung, die sie in der Minute durch Erwärmung des Calorimeters hervorruft, mit k . Um die eingestrahlte, resp. ausgestrahlte, sowie die durch Luftströmungen abgeleitete Wärmemenge zu bestimmen, machen wir die bei den kleinen Temperaturdifferenzen gerechtfertigte Annahme, daß sie proportional der Temperaturdifferenz zwischen dem Calorimeter und der Umgebung sey. Wir wollen die bei der Temperaturdifferenz von 1° zwischen Umgebung und Calorimeter durch Einstrahlung u. s. w. in der Minute hervorgebrachte Temperaturerhöhung des letzteren mit α bezeichnen.

Zur Bestimmung von α und k dienen die Messungen vor und nach dem Hindurchleiten des Gases. Es sey die mittlere Temperatur des Calorimeters während der ersten Periode T , die während der Schluspperiode T_1 ; τ sey die Temperatur der Umgebung. m und m_1 seyen die während

1) cf. Regnault l. c. p. 79 u. ff.

dieser Perioden in jeder Minute eintretenden Temperaturerhöhungen des Calorimeters, dann ist nach der früheren Erörterung:

$$\begin{aligned} - (T - \tau) \alpha + k &= m \\ - (T_1 - \tau) \alpha + k &= m_1. \end{aligned}$$

Hieraus ergiebt sich

$$\alpha = \frac{m - m_1}{T_1 - T}$$

und

$$h = m + \frac{(T - \tau) (m - m_1)}{T_1 - T}.$$

Daß übrigens die Temperatur der Umgebung d. h. die Größe τ , falls sie nur während des ganzen Versuches constant bleibt, nicht bekannt zu seyn braucht, läßt sich leicht nachweisen. Wir nehmen dazu an, daß die Temperaturerhöhung während des ganzen Versuches, so lange Gas durch das Calorimeter hindurch geht, gleichförmig steigt, was bei einem constanten Gasstrom fast vollkommen der Fall ist, und wollen unter dieser Voraussetzung die an der beobachteten Temperaturerhöhung für jede Minute anzubringende mittlere Correction berechnen. Die Temperatur des Calorimeters in dem Augenblick, in dem das Gas hindurchzugehen beginnt, sey t_1 , wenn der Zuleitungshahn geschlossen wird, t_2 . Dann ist die mittlere Temperatur während des Versuches $\frac{t_1 + t_2}{2}$.

Die Correction ist dann nach dem früheren:

$$- \alpha \left\{ \frac{t_1 + t_2}{2} - \tau \right\} + k,$$

und wenn wir für α und k ihre Werthe setzen:

$$\begin{aligned} - \frac{m - m_1}{T_1 - T} \left\{ \frac{t_1 + t_2}{2} - \tau \right\} + m + \frac{(T - \tau) (m - m_1)}{T_1 - T} &= C \\ \frac{m - m_1}{T_1 - T} \tau + m - \frac{m - m_1}{T_1 - T} \frac{t_1 + t_2}{2} \\ + \frac{T (m - m_1)}{T_1 - T} - \tau \frac{(m - m_1)}{T_1 - T} &= C. \end{aligned}$$

Eine Gleichung, in der die beiden mit τ behafteten Glieder sich gegenseitig aufheben. Es ist also die Correction unabhängig von der Temperatur der Umgebung τ .

An den Temperaturen t und t_1 wurden natürlich noch die Correctionen für den aus der Flüssigkeit hervorragenden Quecksilberfaden angebracht.

Für t_1 wurde die Temperatur gewählt, die das Thermometer nach den ersten 10 Secunden nach der Schließung der Hähne zeigte, da jedenfalls ein Theil der innerhalb dieser kurzen Zeit erfolgten Temperaturerhöhung daher führt, dass das Thermometer und Umgebung, sowie die Silberspähne nicht dieselbe Temperatur wie die Flüssigkeit des Calorimeters besitzen. Doch ist es fast ohne Bedeutung für das Resultat, ob diese Temperatur, oder die wirklich im Augenblick des Schlusses der Hähne abgelesene für t_1 gewählt wird.

Wir müssen noch die Abkühlung des Gases bestimmen. Es ist diese, wenn M die constante resp. die mittlere Temperatur des Erwärmungsgefäßes, während des Versuches, bedeutet,

$$\Theta = M - \frac{t_1 + t_2}{2}.$$

Ist aber W das Gewicht des Wassers im Calorimeter vermehrt um den Wasserwerth desselben, G das Gewicht des Gases, ferner ϑ_1 die corrigirte Temperaturerhöhung des Calorimeters, und c die specifische Wärme des untersuchten Gases, so ist

$$W \cdot \vartheta_1 = c G \Theta$$

also

$$c = \frac{W \vartheta_1}{G \Theta}.$$

Multipliciren wir diese specifische Wärme mit der Dichte des betreffenden Gases, bezogen auf Luft, so erhalten wir die specifische Wärme gleicher Volumina der verschiedenen Gase, wenn die der Luft in der Volumeneinheit gleich 0.2389 gesetzt wird, d. h. die sogenannte relative Wärme.

Um den Einfluss der Temperatur auf die specifischen Wärmeln der verschiedenen Gase zu untersuchen, wurden die Gase einmal auf 100°, das andere Mal auf 200° erhitzt,

und die mittlere specifische Wärme zwischen dieser Temperatur t und der Temperatur (r) $20-25^\circ$, die die Flüssigkeit im Calorimeter hatte, bestimmt. Bezeichnen wir die Wärmemenge, welche dem Gase bei der Erwärmung von r° auf t° zugeführt werden muss, mit Q , so lässt sich Q als Function der Temperatur durch

$$Q = a(t-r) + b(t-r)^2$$

darstellen, wo a und b Constante sind. Ist aber c_1 die mittlere specifische Wärme zwischen r° und 100° , c_2 die zwischen r° und 200° , so erhalten wir einmal $t = 100$, das andere Mal $= 200$, und da ferner Q gleich der mittleren specifischen Wärme c multipliziert mit der Temperaturerhöhung ist, so ist

$$Q = c(t-r)$$

$$c_1(100-r) = a(100-r) + b(100-r)^2$$

$$^*c_2(200-r) = a(200-r) + b(200-r)^2$$

oder

$$c_1 = a + b(100-r)$$

$$c_2 = a + b(200-r),$$

Gleichungen, aus denen sich a und b unmittelbar bestimmen lassen.

Die specifische Wärme ist aber die Aenderung der in der Gewichtseinheit des Körpers enthaltenen Wärmemenge für die Temperatureinheit, d. h.

$$\frac{dQ}{dt}.$$

Für die wahre specifische Wärme bei irgend einer Temperatur t folgt also

$$C = a + 2b(t-r).$$

Hieraus können wir unmittelbar die relativen Wärmemengen berechnen.

Die folgenden Tabellen enthalten die für die verschiedenen, untersuchten Gase nach der oben erörterten Methode erhaltenen und berechneten Resultate.

Dabei bezeichnet:

W das Gewicht des Wassers im Calorimeter;

G das Gewicht des in den Ballon eingeströmten Wassers in Kilogrammen, also das Volumen des ausgetretenen Gases in Litern;
B den augenblicklichen Barometerstand;
p den an dem Manometer *k* abgelesenen Druck;
z die Temperatur des Gases im Kautschukballon;
n die Dauer des Versuchs in Minuten;
a das in der Minute ausgeschlossene Gasvolumen in Litern;
r die Temperatur der Umgebung;
T die mittlere Temperatur des Calorimeters in der Anfangsperiode;
m die Temperaturerhöhung des Calorimeters in jeder Minute der Anfangsperiode;
T₁ die mittlere Temperatur des Calorimeters in der Endperiode;
m₁ die Temperaturerhöhung des Calorimeters in jeder Minute der Endperiode;
k u. a die auf Seite 16 erörterten Constanten;
g die beobachtete Temperaturerhöhung des Calorimeters;
g₁ die corrigierte Temperaturerhöhung des Calorimeters;
t die mittlere Temperatur des Calorimeters;
M die Temperatur des Erwärmungsgefäßes;
θ die Temperaturerniedrigung des Gases;
c die specifische Wärme des Gases.

Luft.

Die aus einem Gasometer herausgetriebene Luft wurde durch Schwefelsäure in einer Wulff'schen Flasche und in einem Glasturm, der mit Schwefelsäure benetzte Perlen enthielt, getrocknet. Die folgenden Zahlen sind die bei den definitiven Messungen nach vielen Vorversuchen erhaltenen.

L u f t.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
W	58,8	60,68	59,67	59,96	61	58,41	60,68	60,25	60,33	61,53	60,62	60,04
G	15,56	20,32	17,67	20,13	17,43	17,76	18,22	16,55	16,24	17,66	18	17,45
B	739,9	760	760,3	760,3	758,7	755,26	755,26	751,62	751,1	745,7	745,7	
P	75,08	62	60,80	60,4	56,70	71,40	55,08	84,4	76,30	81,19	76,1	76,1
Z	15,6	16	16,8	17,3	16,4	16,4	16,8	16,8	17,00	17,8	21,5	22,2
N	3 $\frac{1}{2}$	5	4 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	5	4	5	3 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	
a	4,45	4,06	3,93	4,03	3,87	4,44	3,64	4,73	4,42	4,82	4,7	4,65
r	15,8	16,2	17,2	17,2	16,8	16,8	17	17	16,6	17,5	21,2	22,2
T	14,46	15,22	16,38	16,85	15,61	16,23	16,72	17,08	15,81	16,67	20	19,63
m	0,0604	0,064	0,088	0,06	0,072	0,0675	0,073	0,071	0,083	0,08	0,0857	0,1
T'	21,07	23,26	23,71	24,635	22,60	23,51	23,82	23,89	22,53	23,7	26,86	26,65
m'	-0,013	-0,03	+0,00	-0,032	0,0025	-0,026	-0,01	-0,006	-0,003	-0,003	-0,02	+0,021
k	0,0486	0,0526	0,0780	0,056	0,058	0,059	0,0702	0,071	0,072	0,0695	0,067	0,0708
a	0,0117	0,0117	0,012	0,0118	0,011	0,013	0,0118	0,0112	0,0128	0,0117	0,0154	0,0112
ø	6,48	7,95	7,1	7,8	6,75	7,13	6,93	6,53	6,46	6,86	6,62	6,71
ø'	6,39	7,85	6,9	7,74	6,61	7,06	6,78	6,42	6,32	6,72	6,50	6,49
t	17,86	19,42	20,15	20,9	19,22	20,06	20,40	20,63	19,33	20,30	23,6	23,24
M	100°	100°	100°	100°	100°	99,8	99,8	99,7	99,7	99,7	100,9	102
Θ	82,14	80,58	79,85	79,1	80,78	79,74	79,4	80,37	79,4	77,3	78,76	
c	0,2389	0,2393	0,2413	0,2414	0,2376	0,2398	0,2385	0,2395	0,2407	0,2374	0,2384	

Als Mittelwerth ergiebt sich 0,2389 und als grösste Abweichung von ihm 0,0025.

Die Versuche 9 und 10 waren vier Wochen später als die Versuche 1 – 8 angestellt, und die Versuche 11 und 12 noch später; während bei ersteren das Erwärmungsgefäß mit siedendem Wasser gefüllt war, enthielt es bei den letzten zwei Beobachtungen geschmolzenes Paraffin.

Die Zahlen stimmen unter einander fast ebenso gut, wie die von Hrn. Regnault erhaltenen, überein. So finden wir z. B., daß die definitiven Zahlen auf Seite 101 des im Anfang der Abhandlung erwähnten Werkes zwischen 0,23536 und 0,23890 liegen; während meine Zahlen zwischen 0,2374 und 0,2414 schwanken. Der von mir gefundene Mittelwerth 0,2389 weicht um nicht ein Procent von dem aus den von Hrn. Regnault angestellten Messungen sich ergebenden Mittelwerth 0,23751 ab.

An die Bestimmungen der specifischen Wärme der Luft schlossen sich die zur Graduirung des Thermometers für 150° und 200° angestellten an.

Um die Temperatur, die dem 150ten und 200ten Theilstrich des im Erwärmungsapparat benutzten Thermometers an einem Luftthermometer entspricht, festzustellen, wurde das Paraffinbad so stark erhitzt und so lange die Flamme regulirt, bis die Quecksilbersäule den betreffenden Theilstrich erreicht hatte und auf demselben verweilte. Alsdann wurde gerade so verfahren, wie wenn die specifische Wärme der Luft bestimmt werden sollte und aus der bereits bekannten specifischen Wärme derselben, welche nach den umfassenden Versuchen von Hrn. Regnault unabhängig von der Temperatur ist, und den übrigen Daten des Versuches, die Temperaturerniedrigung der Luft im Calorimeter berechnet.

Wurde diese zu der mittleren Temperatur der Flüssigkeit im Calorimeter während des Versuches, die der Endtemperatur der Luft nach ihrer Abkühlung entspricht, addirt, so erhielt man die Anfangstemperatur der Luft und

damit die dem Stande des Thermometers entsprechende, an einem Luftthermometer gemessene Temperatur.

Die Unterschiede der berechneten Abweichungen unseres Thermometers von einem Luftthermometer untereinander, sind von derselben Ordnung, wie diejenigen bei der Bestimmung der specifischen Wärm'en selbst.

Wasserstoff.

Der Wasserstoff wurde in einem Kipp'schen Apparat aus Zink und verdünnter Schwefelsäure dargestellt, sodann durch Kalilauge gereinigt und durch Schwefelsäure in einer Wulff'schen Flasche und einem mit Perlen gefülltem Thurme getrocknet.

Die folgende Tabelle gibt die für den Wasserstoff zwischen 100° und 20° gefundene mittlere specifische Wärme.

Wasserstoff.

	1	2	3	4	5	6
<i>W</i>	60,43	60,15	60,73	60,1	59,9	60,18
<i>G</i>	19,10	16,7	17,95	17,68	18,42	17,77
<i>B</i>	751,00	751,00	755,22	755,1	759,8	759,8
<i>P</i>	26,70	26,52	19,18	23,1	26,36	20,4
<i>z</i>	17,8	18,2	18,2	18,9	17,8	18,6
<i>n</i>	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	4
<i>t</i>	17,4	17,8	18,00	18,7	17,1	18,2
<i>a</i>	5,77	6,7	5,13	6,43	5,26	4,44
<i>T</i>	16,8	18	18,95	18,22	17,5	16,60
<i>m</i>	0,10	0,10	0,083	0,104	0,057	0,08
<i>T₁</i>	24,00	24,54	25,44	24,89	24,60	24,01
<i>m₁</i>	0,04	0,05	0,02	0,022	0,018	— 0,004
<i>k</i>	0,095	0,1084	0,092	0,0982	0,066	0,0617
<i>α</i>	0,0083	0,00764	0,0097	0,0123	0,0197	0,0114
<i>δ</i>	6,80	6,005	6,2	6,3	6,7	6,52
<i>θ</i>	6,62	5,82	6,02	6,134	6,632	6,36
<i>t</i>	20,4	21,3	22,3	21,63	21,05	20,14
<i>M</i>	99,7	99,7	99,8	99,8	100	100
<i>Θ</i>	79,3	78,4	77,5	78,17	78,95	79,86
<i>c</i>	3,336	3,384	3,333	3,371	3,413	3,406

Als Mittelwerth aus den Versuchen 5 und 6 ergiebt sich 3,410, als grösste Abweichung 0,004.

Dafs die ersten vier Zahlen kleiner sind als die beiden letzten, erklärt sich aus der bereits von Hrn. Regnault gemachten Beobachtung, dafs, wenn der ganze Apparat mit Wasserstoff statt mit Luft gefüllt ist, wie dies in der That bei den betreffenden vier Versuchen der Fall war, die Constante k einen weit grösseren Werth besitzt. In dem leicht beweglichen Wasserstoff treten nämlich, wenn derselbe vor und nach dem Versuch sich im ruhenden Zustande befindet, Strömungen auf, die abgesehen von der Leitung durch den Neusilberansatz, Wärme aus dem Erwärmungsapparat in das Calorimeter überführen. Es ist aber nur die übergeleitete Wärme, die, wenn der Apparat von einem Gasstrom durchflossen wird, bei den Correctionen in Betracht kommt, da dann die secundären Strömungen vollkommen zurücktreten.

Dieser zu grosse Werth von k lässt aber die negative Correction an der beobachteten Temperaturerhöhung zu gross, diese Temperaturerhöhung also selbst zu klein werden: woraus sich unmittelbar die zu kleine specifische Wärme erklärt. Bei den beiden letzten Versuchen wurde der Apparat vor und nach dem Versuch mit Luft gefüllt; k hat dann den richtigen kleineren Werth, und die so gefundene specifische Wärme 3,410 stimmt mit der von Hrn. Regnault gefundenen 3,409 hinlänglich überein, umso mehr, als die Zahlen von Hrn. Regnault (cfr. l. c. p. 121) selbst von 3,401 bis 3,419 schwanken.

Für die auf das Volumen bezogene specifische Wärme ergiebt sich durch Multiplication von 0,0692 mit 3,410 der Werth 0,2358.

Den Wasserstoff für verschiedene Temperaturen auf seine specifische Wärme zu untersuchen, schien ohne Interesse zu seyn, da für ihn bereits Hr. Regnault nachgewiesen hat, dass sich seine specifische Wärme nicht mit der Temperatur verändert.

Ebensowenig schien eine Untersuchung des Sauerstoffs

und Stickstoffs nöthig zu seyn. Für ersteren hat Hr. Regnault bereits nachgewiesen, dass seine specifische Wärme im Volumen dieselbe wie die der Luft ist, woraus unmittelbar das gleiche für den Stickstoff folgt.

Da außerdem die Luft keine Veränderungen ihrer specifischen Wärme mit der Temperatur zeigt, so können auch solche Aenderungen nicht bei ihren Bestandtheilen vorhanden seyn.

Kohlensäure.

Die Kohlensäure wurde wie der Wasserstoff in einem Kipp'schen Apparat aus Marmor und verdünnter Salzsäure entwickelt. Das entweichende Gas ging zuerst durch eine Flasche mit einer Lösung von doppeltkohlensaurerem Natron, um etwa mitgerissene Salzsäure aufzunehmen, dann durch eine Flasche mit Schwefelsäure und mit Schwefelsäure befeuchtete Perlen.

Die bei den Versuchen benutzte Kohlensäure enthielt nie mehr als $\frac{1}{2}$ —1 Proc. Luft, wenn sie nach ihrem Austritt aus dem Ballon untersucht wurde.

Die folgenden Tabellen enthalten die für die Kohlensäure gefundenen Resultate.

Tabelle L
Versuche zwischen 100° und 20 bis 25°.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
W	59,84	59,15	60,63	60,70	60,85	59,32	59,74	60,04	
G	15,13	15,12	14,77	13,72	16,12	16,63	16,10	17,27	
B	755,90	755,43	755,60	755,72	746,9	746,9	746,3	745,36	
P	17,7	16,6	17,2	17,4	18,3	20,5	22,2	20,5	
Z	86,10	66,50	75,48	82,82	56,83	77,5	78,74	61,61	69,36
n	4 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	3,7	4,04	4 $\frac{1}{2}$	4	4	4 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$
a	3,36	3,78	3,7	4,04	3,43	4,03	4,16	3,58	3,84
r	18,00	16,7	17,0	17,4	17,8	20,45	21,2	21,9	22,8
T	17,1	17,1	16,62	16,3	17,3	20,52	18,42	17,51	21,7
n	0,075	0,07	0,079	0,075	0,073	0,043	0,075	0,011	0,067
T _r	25,24	25,06	25,80	24,25	24,46	27,95	26,93	26	29,62
m _r	—	0,023	—	0,03	—	0,013	—	0,023	—
k	0,0642	0,076	0,085	0,085	0,0669	0,044	0,0429	0,0533	0,0321
a	0,0121	0,0127	0,014	0,0125	0,0120	0,0139	0,0115	0,0130	0,0135
ø	7,92	7,82	9	7,72	6,97	7,49	8,35	8,10	7,84
ø _r	7,81	7,74	8,89	7,64	6,86	7,53	8,25	7,86	7,79
t	21,36	21,22	21,40	20,46	21,00	24,37	22,82	21,95	25,8
M	99,8	99,8	99,8	99,8	99,8	98,6	100,25	101,25	97,5
⊕	78,44	78,58	78,4	79,34	78,8	74,23	77,43	79,93	71,7
c	0,2084	0,2081	0,2101	0,2095	0,2113	0,2086	0,2091	0,2061	0,2082

Als Mittelwerth ergiebt sich 0,2088, als grösste Abweichung 0,0027. Die Versuche 1—5 waren etwa einen Monat vor den Versuchen 6—9 angestellt. Bei den ersteren war das Erwärmungsgefäß mit siedendem Wasser, bei den letzteren mit geschmolzenem Paraffin gefüllt.

Tabelle II.
Versuche zwischen 150° und 25°.

	1	2	3	4	5
<i>W</i>	60,45	60,65	60,37	60,35	60,8
<i>G</i>	16,40	12,43	12,54	12,58	13,5
<i>B</i>	747,6	747,1	747,1	745,2	745,2
<i>p</i>	67,73	64,87	65,7	53,0	57,5
<i>z</i>	19,6	20,4	20,9	19,4	20,6
<i>n</i>	4 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	4
<i>a</i>	3,64	3,55	3,58	3,025	3,38
<i>e</i>	19,6	20,6	21,5	19,3	20,35
<i>T</i>	19,55	20,85	21,82	19,36	19,35
<i>m</i>	0,114	0,11	0,116	0,103	0,1
<i>T₁</i>	33,20	31,55	32,05	29,9	29,94
<i>m₁</i>	— 0,046	— 0,0125	— 0,035	— 0,02	— 0,017
<i>k</i>	0,114	0,1113	0,121	0,1036	0,089
<i>a</i>	0,0117	0,0114	0,0148	0,0116	0,0109
<i>o</i>	13,43	10,42	10,08	10,28	10,4
<i>o₁</i>	13,3	10,26	9,94	10,12	10,24
<i>t</i>	26,7	26,4	27,10	24,86	24,8
<i>M</i>	151,5	155,1	150,7	151,7	146,0
<i>Θ</i>	124,8	128,7	123,6	126,8	121,15
<i>e</i>	0,2160	0,2170	0,2143	0,2147	0,2138

Als Mittelwerth ergiebt sich 0,2152, als grösste Abweichung 0,0019.

Tabelle III.
Versuche zwischen 200° und 25°.

	1	2	3	4	5	6
<i>W</i>	60,4	60,52	60,7	60,3	60,7	59,75
<i>G</i>	8,36	9,11	10,01	8,40	10,05	10,12
<i>B</i>	745,2	744,63	744,65	744,65	749,0	749,00
<i>p</i>	46,1	47,3	61,2	65,3	62,83	61,2
<i>z</i>	21,8	22,8	23,4	23,1	20,00	20,1
<i>n</i>	3	3½	3⅔	2½	3	3½
<i>a</i>	2,786	2,88	3,16	3,36	3,35	3,20
<i>r</i>	22	23,25	23,7	23,8	20,2	20,7
<i>T</i>	21,72	21,67	18,60	21,8	19,1	19,76
<i>m</i>	0,14	0,145	0,20	0,20	0,170	0,151
<i>T_t</i>	31,99	32,55	31,16	32,45	31,30	31,93
<i>m_t</i>	0,038	0,039	0,06	0,05	0,04	0,007
<i>k</i>	0,137	0,129	0,1435	0,172	0,158	0,133
<i>a</i>	0,0100	0,097	0,0112	0,0141	0,0107	0,0118
<i>θ</i>	9,74	10,24	11,72	9,84	11,53	11,70
<i>θ'</i>	9,485	9,9	11,31	9,53	11,22	11,48
<i>t</i>	27	27,2	25,05	27,3	25,35	26,04
<i>M</i>	202,1	200,45	201,1	202,8	196,35	196,25
<i>Θ</i>	175,1	173,25	176,05	175,5	171	170,20
<i>c</i>	0,2230	0,2182	0,2193	0,2181	0,2188	0,2207

Als Mittelwerth ergiebt sich 0,2197, als grösste Abweichung 0,0033.

Unter einander stimmen die von mir gefundenen Zahlen ebenso gut wie die von Hrn. Regnault beobachteten. Es schwanken z. B. die von ihm bei den zwischen 210° und 10° angestellten Bestimmungen erhaltenen Werthe zwischen 0,21416 und 0,21844, die für die specifischen Wärmen zwischen 100° und 10° zwischen 0,20086 und 0,20308.

Sowohl aus den Bestimmungen von Hrn. Regnault wie aus den meinigen ergiebt sich eine starke Veränderung der specifischen Wärme mit der Temperatur.

Aus den obigen Messungen berechnen sich die wahren specifischen Wärmen für

$$\begin{array}{lll}
 0^\circ & \text{zu} & 0,1952 \\
 100^\circ & \text{zu} & 0,2169 \\
 200^\circ & \text{zu} & 0,2387,
 \end{array}$$

während Hr. Regnault für 0° 0,1870, für 100° 0,2145 für 200° 0,2397 findet.

Die relativen Wärmen ergeben sich, da das specifische Gewicht der Kohlensäure 1,529 ist, für

0° 0,2985, 100° 0,3316, 200° 0,3650.

Kohlenoxyd.

Es wurde dies Gas nach der von Hrn. Fownes angegebenen Methode durch Erwärmen von 1 Theil Blutlaugensalz mit 8 Theilen concentrirter Schwefelsäure gewonnen. Das Erwärmen muß übrigens sehr vorsichtig geschehen, da im Anfang das Blutlaugensalz sich in eine breiige Masse verwandelt, die leicht ein Uebersteigen des Gemisches hervorrufen kann. Das Gas wurde zunächst durch Kalilauge geleitet und durch Schwefelsäure, wie die früher besprochenen Gase, getrocknet. Es wurde fast vollkommen von einer Lösung von Kupferchlorür in Salzsäure absorbirt. Kohlensäure enthielt es gar nicht. Oxalsäure wurde nicht zur Entwicklung angewandt, da die Reinigung von der sich zu gleicher Zeit bildenden Kohlensäure mit großen Schwierigkeiten verknüpft ist. Die Darstellung aus Ameisensäure war bei den immerhin nicht unbedeutenden untersuchten Mengen nicht gut durchführbar.

Die in Tabelle I. und II. auf Seite 29 und 30 angegebenen Bestimmungen ergeben fast genau dieselbe Zahl wie die zwischen 100° und 25° , so daß wir die specifische Wärme des Kohlenoxydes als unabhängig von der Temperatur betrachten können; auch weichen sie nicht sehr von dem von Hrn. Regnault zwischen 200° und 20° gefundenen Werthe 0,2450 ab. Bestimmungen zwischen 100° und 0° hat derselbe nicht ausgeführt.

Die relative Wärme des Kohlenoxyd ergiebt sich, da das specifische Gewicht desselben 0,967 ist, zu 0,2346; ist also nahe gleich dem der Luft 0,2389.

Tabelle I.
Versuche zwischen 100° und 25°.

	1	2	3	4	5
<i>W</i>	60,36	60,85	61,03	60,65	60,13
<i>G</i>	18,38	16,45	18,31	18,81	18,47
<i>B</i>	745,6	745,6	750,5	750,3	753,3
<i>p</i>	75,5	73,7	77,9	77,1	80,8
<i>z</i>	22,8	23,1	19,9	20,4	20,2
<i>n</i>	4½	4	4½	4½	4½
<i>a</i>	4,084	4,11	4,07	4,18	4,105
<i>t</i>	22,6	23	20,05	20,3	19,95
<i>T</i>	21,05	18,55	18,07	18,05	20,48
<i>m</i>	0,0625	0,1104	0,079	0,083	0,073
<i>T_i</i>	27,65	24,93	25,09	25,19	27,68
<i>m_i</i>	— 0,017	0,027	— 0,004	0,0033	— 0,013
<i>k</i>	0,0442	0,050	0,0557	0,057	0,079
<i>a</i>	0,0120	0,0119	0,0117	0,0112	0,0103
<i>θ</i>	6,40	5,98	6,73	6,88	7,00
<i>θ_i</i>	6,3	5,72	6,57	6,69	6,84
<i>t</i>	24,5	21,8	21,71	21,74	24,20
<i>M</i>	98	97,6	98,6	98	103
<i>θ</i>	73,5	75,8	76,9	76,26	78,8
<i>c</i>	0,2450	0,2420	0,2432	0,2425	0,2399

Als Mittelwerth ergiebt sich 0,2425, als grösste Abweichung von diesem 0,0026.

Der sechste Versuch wurde nach den Versuchen zwischen 200° und 25° angestellt.

Tabelle II.
Versuche zwischen 200° und 25°.

	1	2	3	4	5
<i>W</i>	60,95	59,8	60	59,9	60,65
<i>G</i>	11,27	11,7	12,71	11,5	12,61
<i>B</i>	750,15	750,15	750,15	753,3	753,3
<i>p</i>	44,9	58,34	57,52	45,3	65,2
<i>z</i>	21,6	21,4	21,6	20,4	20,4
<i>n</i>	4	3 $\frac{1}{2}$	4	4 $\frac{1}{2}$	4
<i>a</i>	2,82	3,34	3,18	2,55	3,15
<i>i</i>	22,2	21,7	21,55	20,65	20
<i>T</i>	22,6	17,63	21,54	21,15	21
<i>m</i>	0,2	0,234	0,184	0,18	0,17
<i>T_i</i>	32,9	28,45	32,90	31,35	32,23
<i>m_i</i>	0,07	0,05	0,04	0,0571	0,033
<i>k</i>	0,205	0,166	0,184	0,182	0,182
<i>a</i>	0,0126	0,017	0,0127	0,0121	0,0122
<i>o</i>	9,22	9,63	10,48	9,33	10,43
<i>o_i</i>	8,70	9,15	10,08	8,83	10,03
<i>t</i>	28	23,38	27,43	26,44	26,8
<i>M</i>	202,75	194,75	199,1	194,9	198,45
<i>Θ</i>	174,75	171,38	171,67	168,46	171,65
<i>c</i>	0,2407	0,2407	0,2442	0,2444	0,2431

Als Mittelwerth ergiebt sich 0,2426, als grösste Abweichung von diesem 0,0019.

Aethylen.

Das Aethylen wurde nach der von E. Mitscherlich angegebenen Methode dargestellt. Alkoholdämpfe wurden in mässig concentrirte Schwefelsäure, die auf 160 bis 170° erhitzt war, geleitet. Das entweichende Gas wurde in Gasometern aufgefangen, nachdem es vorher durch Kühlvorrichtungen zur Condensation des sich immer bildenden Aethers, ferner durch Kalilauge und concentrirte Schwefelsäure gegangen war. An das Wasser der Gasometer gab es dann die letzten Spuren des Aethers ab und konnte, nachdem es vorher durch Schwefelsäure getrocknet war, ohne Gefahr in den Kautschukballon gebracht werden.

Da sich stets außer dem Aethylen noch Nebenprodukte bilden, so kann bei demselben nicht eine ebenso grosse Uebereinstimmung der Resultate wie bei den anderen Gasen erzielt werden.

Tabelle I.
Versuche zwischen 100° und 25°

Tabelle I.
Versuche zwischen 100° und 25°

	1	2	3	4	5	6	7	8
W	60,4	60,51	60,9	60,88	60,7	60,88	60,73	60,29
B	748,7	748,4	748,4	748,4	750,84	750,84	750,84	748,3
G	14,95	15,68	15,4	16,1	15,25	16,13	17,72	15,11
P	80,37	81,2	82,92	74,26	78,33	78,33	79,15	80,8
z	20,8	21,8	21,8	21,6	21,8	22,2	23,1	22,9
n	3	3	3	3	3	3	3	3
a	5,00	5,22	5,1	4,92	5,08	5,34	5,06	5,03
r	21,20	21,9	22	21,7	21,9	22,2	22,75	25,00
T	21,12	20,23	19,23	20,25	18,55	18,11	20,05	19,84
m	0,071	0,073	0,094	0,088	0,1	0,137	0,068	0,115
T'	29,54	29,14	28,37	29,4	27,15	27,15	30,06	29,19
m'	—	—0,047	—0,02	—0,057	—0,033	—0,033	—0,06	—0,036
k'	0,070	0,050	0,059	0,064	0,0554	0,046	0,053	0,0632
a	0,0150	0,0134	0,0124	0,0158	0,0136	0,0141	0,0128	0,0160
ø	8,26	8,74	8,98	9,1	8,3	9,37	9,98	9
ø'	8,25	8,71	8,88	9,07	8,18	9,27	9,98	8,9
t	25,57	24,93	23,96	25,15	23	23,21	25,30	24,75
M	100,65	100	101	102	97	100,5	100	102,1
θ	75,1	75,07	77,1	76,85	74	77,29	74,7	77,35
c	0,3803	0,3852	0,3912	0,3887	0,3783	0,3896	0,3950	0,3973

Als Mittelwerth ergiebt sich 0,3880, als gröfse Abweichung von diesem 0,0093.

Tabelle II.
Versuche zwischen 200° und 27°.

	1	2	3	4	5	6
<i>W</i>	60,81	59,85	60,65	60,43	60,75	60,9
<i>G</i>	7,93	7,15	7,24	5,98	8,06	7,22
<i>B</i>	752,88	752,88	752,88	752,88	748,3	748,3
<i>p</i>	57,52	46,92	46,5	45,7	47,4	48,1
<i>z</i>	20,4	20,8	21,2	21,6	21,8	22,4
<i>n</i>	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2	1 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2
<i>a</i>	3,40	3,30	3,62	3,42	3,72	3,61
<i>r</i>	20,75	20,55	21,35	21,85	22	22,6
<i>T</i>	20,86	19,7	21,05	23,15	21,25	21,36
<i>m</i>	0,184	0,17	0,164	0,17	0,14	0,133
<i>T_i</i>	32,60	30,67	32,10	32,77	32,53	31,96
<i>m_i</i>	0,014	0,0280	0,0166	0,006	— 0,005	— 0,0025
<i>k</i>	0,172	0,159	0,158	0,192	0,130	0,118
<i>a</i>	0,0134	0,0130	0,0133	0,0170	0,0129	0,0128
<i>g</i>	10,83	10,22	10,30	8,75	10,74	10,1
<i>θ_i</i>	10,65	10,02	10,13	8,61	10,59	9,98
<i>t</i>	27,08	25,4	26,85	28,35	27,15	26,86
<i>M</i>	197,5	200,2	203,25	204,75	195,4	200
<i>θ</i>	170,4	174,8	176,4	176,4	168,25	173,14
<i>c</i>	0,4195	0,4267	0,4286	0,4401	0,4251	0,4361

Als Mittelwerth ergibt sich 0,4293, als grösste Abweichung von diesem 0,0108.

Die Reihenfolge der mit dem Aethylen angestellten Versuche war 1, 2, 3, 4, 1a, 2a, 3a, 5, 6, 7, 4a, 5a, 8, 6a.

Das bei diesen Versuchen zwischen 200° und 25° erhaltenen Resultat 0,4293 weicht nicht allzu sehr von dem von Hrn. Regnault erhaltenen 0,404 (Mittel aus 4147 und 0,3933) ab. Zwischen 100° und 20° hat derselbe keine Versuche angestellt.

Das Aethylen zeigt uns, wie Kohlensäure und Stickoxydul, eine starke Aenderung der specifischen Wärme mit der Temperatur.

Die wahren specifischen Wärm'en ergeben sich für 0° 0,3364, 100° 0,4189, 200° 0,5015.

Durch Multiplication mit dem specifischen Gewicht des Aethylen 0,9672 erhalten wir die relative Wärme
für 100° 0,3254, 150° 0,405, 200° 0,4851.

Stickstoffoxydul.

Das Gas wurde durch langsames Erhitzen aus salpetersaurem Ammoniak gewonnen. Das angewandte Salz enthielt weder Chlorammonium noch salpetrigsaures Ammoniak, wie eine Prüfung mit salpetersaurem Silber und Jodkalium ergab. Das Gas wurde durch Kalilauge und Schwefelsäure gewaschen und getrocknet. Die Kalilauge zersetzt übergerissenes salpetersaures Ammoniak und nimmt die Salpetersäure auf, während das freie Ammoniak von der Schwefelsäure absorbiert wird.

Tabelle I.
Versuche zwischen 100° und 25°.

	1	2	3	4	5	6
W	59,9	60,29	60,71	60,85	60,53	60,63
G	14,69	14,42	16,73	12,18	15,49	14,93
B	748,0	748,00	748	753,1	753,9	752,75
p	82,4	81,2	67,00	77,5	78,3	76,7
z	19,5	20,00	20,20	23	21,8	23
n	3½	3½	4½	5	4½	4
a	4,2	4,12	3,72	2,44	3,72	3,73
r	19,75	20,2	20,5	23,1	22,1	23,1
T	19,7	19,77	20,22	19,2	22,4	22,8
m	0,06	0,057	0,075	0,087	0,057	0,056
T _i	27,19	27,10	28,35	25,87	30,24	30,21
m _i	— 0,072	— 0,045	— 0,071	0,01	— 0,042	— 0,066
k	0,059	0,0502	0,070	0,043	0,0608	0,052
a	0,0175	0,0137	0,0179	0,0113	0,0131	0,0164
θ	7,53	7,38	8,17	6,32	7,8	7,41
θ _i	7,56	7,39	8,18	6,08	7,78	7,44
t	23,67	23,62	24,5	22,66	26,5	26,7
M	103,5	102	101,8	102	103,8	103,9
θ	79,83	73,38	77,3	79,34	77,3	77,2
c	0,2096	0,2138	0,2129	0,2099	0,2144	0,2149

Als Mittelwerth ergiebt sich $c=0,2126$, als größte Abweichung von diesem 0,0030.

Die Beobachtungen 4, 5, 6 wurden nach den in Tab. II. aufgeführten Messungen zwischen 200° und 25° angestellt.

Tabelle II.
Versuche zwischen 200° und 25°.

	1	2	3	4
<i>W</i>	60,38	60,45	60,5	59,92
<i>G</i>	9,01	9,18	9,87	8,54
<i>B</i>	748,61	748,61	753,3	753,3
<i>p</i>	58,34	65,30	58,75	71,4
<i>z</i>	21,6	22,8	21,8	22,4
<i>n</i>	2 $\frac{1}{4}$	2 $\frac{3}{4}$	3	2 $\frac{1}{2}$
<i>a</i>	3,28	3,44	3,29	3,94
<i>r</i>	22,2	23,4	22	22,35
<i>T</i>	19,67	20,85	20	22,25
<i>m</i>	0,225	0,21	0,2	0,173
<i>T_i</i>	31,46	33,03	32,85	34,40
<i>m_i</i>	0,072	0,065	0,036	0,022
<i>k</i>	0,192	0,180	0,1748	0,166
<i>α</i>	0,0130	0,0119	0,0128	0,0125
<i>θ</i>	10,82	11,12	12,04	10,94
<i>θ_i</i>	10,46	10,7	11,67	10,74
<i>t</i>	25,75	27,24	26,6	28,84
<i>M</i>	201	201,45	210,1	212,1
<i>Θ</i>	175,24	174,21	183,5	183,26
<i>c</i>	0,2248	0,2262	0,2187	0,2267

Als Mittelwerth ergiebt sich 0,2241, als grösste Abweichung von diesem 0,0054.

Die zwischen 200° und 25° gefundene specifische Wärme ist nahe dieselbe wie die von Hrn. Regnault gefundene 0,22616. Hr. Regnault hat bei diesem Gase Versuche angestellt, bei denen das Gas auf 165° und 200° erwärmt wurde. Die innerhalb dieser engeren Temperaturgränzen erhaltenen Resultate lassen auch wie die meinigen schon eine Zunahme der specifischen Wärme mit der Temperatur erkennen.

Aus den obigen Messungen berechnen sich die wahren specifischen Wärmen bei

0° 0,1083, 100° 0,2212, 200° 0,2442.

Multipliciren wir diese Grössen mit dem specifischen Ge-

b. II.
stellt.

wicht 1,52 des Stickoxyduls, (so erhalten wir die relative Wärme desselben

für 0° 0,3014, für 100° 0,3362, für 200° 0,3712.

Ammoniak.

Das Ammoniak wurde aus der concentrirtesten im Handel vorkommenden Ammoniakflüssigkeit durch gelindes Erwärmen entwickelt; getrocknet wurde es durch eine lange mit Kalk gefüllte Röhre. Um die Stärke des Gasstromes zu beurtheilen, wurde dasselbe durch eine kleine mit Quecksilber gefüllte Flasche geleitet.

Eine leere in den Gasstrom gebrachte Flasche diente dazu, etwa mitgerissenes Quecksilber aufzunehmen.

Bei dem Ammoniak wurde statt des Wassers im Manometer *k* concentrirte Ammoniakflüssigkeit benutzt, deren specifisches Gewicht natürlich bei der Reduction des betreffenden Druckes auf Quecksilber in Betracht gezogen wurde.

Ein Dreiweghahn gestattete das Gas nach Belieben dem Kautschukballon zuzuführen oder aber dasselbe aus dem Fenster entweichen zu lassen.

e Ab-

Värme

indene

rsuche

wärmt

ränzen

schon

operatur

wahren

en Ge-

Tabelle I.
Versuche zwischen 100° und 25°.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
W	60,38	61,45	60,33	59,77	60,9	60,62	59,42	60,93	60,64	60,00	60,96	60,83
G	16,12	13,97	13,38	15,12	14,78	16,41	16,65	16,75	14,35	14,76	15,72	17,7
B	753,3	752,46	749,62	749,62	749,68	747,4	747,40	746,6	746,6	747,3	747,3	747,3
p	60,0	69,04	70,59	73,04	60,32	61,2	63,24	64,1	71,0	69,0	71	71
χ	19,3	16,3	17,2	17,00	25	25,2	24	24,2	23,3	23,3	23,7	24,00
n	4	3	3	3 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	4	4	4	4	4	4 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$
a	4,03	4,66	4,46	4,54	4,92	4,10	4,16	4,19	3,59	3,69	3,77	3,73
r	19,9	16,0	15,9	16,85	16,75	25,15	25,3	23,7	24,2	23,1	23,6	24,1
T	17,90	16,38	15,9	16,4	15,8	22,65	21,68	22,25	22,56	21	20,56	21,11
m	0,08	0,078	0,086	0,101	0,098	0,098	0,137	0,078	0,09	0,1	0,123	0,126
T'	25,8	23,45	23,03	24,39	23,24	30,50	29,7	30,05	29,60	28,78	28,95	29,85
m'	—0,033	—0,05	0,00	—0,0075	0,0025	—0,013	0,002	—0,025	0,0025	0,0066	0,018	0,0170
k	0,0513	0,0848	0,086	0,095	0,087	0,063	0,0785	0,059	0,071	0,076	0,085	0,089
a	0,0143	0,0180	0,0120	0,0136	0,014	0,0130	0,014	0,0175	0,0131	0,0128	0,0125	0,0124
ϑ	7,76	6,79	6,83	7,69	7,24	7,44	7,49	7,6	6,68	7,35	7,77	8,37
ϑ_1	7,68	6,76	6,70	7,54	7,06	7,28	7,24	7,5	6,50	7,14	7,49	8,04
t	22,9	20,0	19,6	20,55	19,6	26,82	26	26,4	26,26	25,1	25	25,6
M	99,8	99,7	99,6	99,6	99,6	102	99,5	101,8	100,96	104	103,5	100,6
θ	77,80	79,5	80	79,05	80	75,2	73,5	75,4	74,7	78,9	78,5	75
c	0,59296	0,5164	0,5246	0,5296	0,5108	0,5173	0,5084	0,5201	0,5246	0,5345	0,5271	0,5240

Als Mittelwerth aus sämtlichen Zahlen ergiebt sich 0,5202, als grösste Abweichung von diesem 0,0118.

Bei den Versuchen 1 bis 6 war das Erwärmungsgefäß mit siedendem Wasser gefüllt.

Tabelle II.

Versuche zwischen 200° und 25°

Als Mittelwerth aus sämmtlichen Zahlen ergiebt sich 0,5202, als grösste Abweichung von diesem 0,0118.
 Bei den Versuchen 1 bis 6 war das Erwärmungsgefäß mit siedendem Wasser gefüllt.

Tabelle II.
 Versuche zwischen 200° und 25°.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>W</i>	60,84	60,71	60,3	60,49	61,04	60,21	60,74	60,96	61,01	60,18	60,91
<i>G</i>	6,2	7,6	9,59	8,2	7,34	9,54	6,81	7,02	8,15	8,3	6,6
<i>B</i>	750,6	750,6	750,6	750,3	750,3	750,3	750,3	745,8	745,8	747,7	747,7
<i>p</i>	45,3	47,7	37,1	33,0	46,51	45,3	51,4	48,9	45,9	44,0	
<i>x</i>	23	23	23,6	23,8	24,1	24,4	25,6	26	24,8	25,00	
<i>n</i>	2	2 $\frac{1}{2}$	3	3	3	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	3	3 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2,604
<i>a</i>	3,1	3,04	3,2	2,73	2,44	3,18	3,14	2,81	2,72	2,61	
<i>r</i>	23,06	23,9	23,80	23,8	24,5	24,4	24,4	26,00	26,6	24,5	25,
<i>T</i>	23,55	22,68	19,78	20,76	21,5	20,75	23,07	23,35	22,55	21,14	21,26
<i>m</i>	0,185	0,204	0,23	0,183	0,20	0,22	0,26	0,25	0,30	0,35	0,35
<i>T_t</i>	30,90	31,85	31,37	30,50	30,24	31,95	32,01	33,15	32,63	32,00	30,44
<i>m_t</i>	0,058	0,06	0,075	0,06	0,07	0,054	0,13	0,135	0,15	0,16	0,17
<i>k</i>	0,183	0,195	0,175	0,145	0,165	0,169	0,242	0,220	0,242	0,29	0,277
<i>a</i>	0,0162	0,0157	0,0134	0,0126	0,015	0,0145	0,0145	0,012	0,0148	0,0174	0,0196
<i>θ</i>	6,83	8,42	10,55	8,93	7,99	10,45	7,64	7,95	8,94	9,22	7,13
<i>θ_t</i>	6,59	8,1	10,10	8,57	7,59	10,05	7,22	7,48	8,37	8,40	6,50
<i>t</i>	27,20	27,4	25,73	25,85	26	26,52	27,6	28,55	27,8	26,6	26,22
<i>M</i>	203,8	203,9	200,8	201	200,4	201	202,3	199,9	196,9	192,65	
<i>θ</i>	176,6	176,5	175,07	175,15	174	173,88	173,4	173,75	172,1	170,3	166,43
<i>c</i>	0,5343	0,5349	0,5349	0,5341	0,5392	0,5340	0,5448	0,5493	0,5322	0,5270	0,5323

Als Mittelwerth ergiebt sich 0,5356, als grösste Abweichung von diesem 0,0137.

Wie Hr. Regnault bereits vermutete, ist die von ihm für die specifische Wärme des Ammoniaks zwischen 200° und 20° gefundene Zahl 0,50836 etwas zu klein; nach meinen Versuchen ergiebt sie sich zu 0,5356.

Die wahren specifischen Wärmen ergaben sich für 0° zu 0,5009, für 100° zu 0,5387, für 200° zu 0,5629.

Multiplicieren wir diese Zahlen mit der Dichte des Ammoniaks 0,5894, so erhalten wir die relative Wärme für 0° 0,2952, für 100° 0,3134, für 200° 0,3378.

Auch beim Ammoniak zeigt sich eine Aenderung der specifischen Wärme mit der Temperatur, wenn auch nicht in dem Maafse, wie bei Stickoxydul, Kohlensäure und Aethylen.

Schluss.

Eine Vergleichung der oben mitgetheilten Resultate mit den von Hrn. Regnault gefundenen zeigt, dass die von mir angewandte Methode der des Hrn. Regnault nicht an Genauigkeit nachsteht. Da aber die Wassermenge in meinem Calorimeter nur den zehnten Theil von der in dem von Hrn. Regnault benutzten beträgt, so genügte schon der zehnte Theil des Gases, um ebenso grosse Temperaturerhöhungen wie jener zu erhalten. Durch diese bedeutende Materialersparnis war es möglich, in verhältnissmässig kurzer Zeit der Untersuchung eine grössere Ausdehnung zu geben.

In der folgenden Tabelle sind die erhaltenen Zahlen noch einmal zusammengestellt. Die erste, zweite und dritte Columne enthalten die wahren specifischen Wärmen der Gase bei 0° , 100° und 200° bezogen auf die Gewichtseinheit, die vierte giebt den Unterschied der wahren specifischen Wärmen bei 0° und 200° , ausgedrückt in Procenten der specifischen Wärme bei 0° . Die fünfte, sechste und siebente Columne enthalten die wahren specifischen Wärmen, bezogen auf die Volumeneinheit, die specifische Wärme der Volumeneinheit Luft gleich 0,2389 gesetzt. Die achte

enthalt die specifischen Gewichte der betreffenden Gase, während die neunte das von Hrn. Regnault

enthalt die spezifischen Gewichte der betreffenden Gase, während die neunte das von Hrn. Regnault bestimmte Verhältnis der Producte aus dem Volumen V und V_1 und dem Druck P und P_1 angiebt, wenn P etwa eine Atmosphäre, P_1 dagegen etwa zwei Atmosphären beträgt. Die Abweichung dieser Zahlen von der Einheit, der sie bei vollkommenen Gasen gleich sind, kann als ein Maafis für ihre Abweichung vom vollkommenen Gaszustand dienen.

Spezifische Wärmen gleicher Gewichte.

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	Spez. Gew.	$\frac{P}{P_1} \cdot \frac{V}{V_1}$
	0°	100°	200°		0°	100°	200°			1	1,00215
Luft	0,2389	"	"	0	0,2389	"	"	"	0,0692	—	
Wasserstoff	3,410	"	"	0	0,2359	"	"	"	0,967	1,00938	
Kohlenstoff	0,2426	"	"	0	0,2346	"	"	"	1,529	1,00722	
Kohlensäure	0,1952	0,2169	0,2387	22,28	0,2985	0,3316	0,3650				
Aethylen	0,3364	0,4189	0,5015	49,08	0,3254	0,4052	0,4851	0,9677	—		
Stickstoffoxydul	0,1983	0,2212	0,2442	23,15	0,3014	0,3362	0,3712	1,5241	1,00651		
Ammoniak	0,5009	0,5317	0,5629	12,38	0,2952	0,3134	0,3318	0,5894	1,01881		

Nach dem von Avogadro aufgestellten Gesetz enthalten gleiche Volumina verschiedener Gase gleichviel Moleküle: Es geben also die specifischen Wärmen gleicher Volumina der Gase auch die Molecular-Wärmen derselben.

Die durch die vorliegenden Versuche bestimmte specifische Wärme bei constantem Druck setzt sich aus zwei Theilen zusammen: erstens aus der bei der Ausdehnung der Gase zur Ueberwindung des äufseren Druckes verwandten Arbeitswärme, die sich aus dem Ausdehnungs-coëfficienten und dem Wärmeäquivalent zu 0,06902 Wärme-einheiten bei der Aenderung der Temperatur von 1 Grm. Luft um 1° berechnet; zweitens aus der für die innere Arbeit im Gase verwandten Wärme, welche man auch durch Bestimmung der specifischen Wärme bei constantem Volumen *D* direct messen könnte. Eine Bestimmung der einzelnen die specifische Wärme bei constantem Volumen zusammenstehenden Theile der Molecularbewegungswärme, der Atom- und Atomenwärme nach Hrn. Naumann, sowie der Versuch, einfache Beziehungen zwischen denselben aufzustellen, dürfte insofern noch verfrüht erscheinen, als in Folge der ungleichen Aenderungen der specifischen Wärmen mit der Temperatur, welche sich nicht allein auf die geringen Verschiedenheiten der Ausdehnungswärmern zurückführen lassen, sich für die verschiedenen Temperaturen ganz verschiedene Verhältnisse zwischen denselben ergeben würden.

Die Aenderungen der specifischen Wärmen der Gase mit der Temperatur lassen sich nicht aus der Abweichung derselben von dem permanenten Gaszustande erklären. Bei dem Ammoniak nämlich sind, trotzdem dasselbe weit mehr sich von dem permanenten Gaszustande entfernt, als Stickoxydul und Kohlensäure, wie sich aus dem Verhältnis der Werthe $\frac{P \cdot V}{P_1 \cdot V_1}$ ergiebt, doch die Veränderungen mit der Temperatur weit geringer, als bei den ersteren

ent-
schviel
reicher
der-

immte
h aus
Aus-
drückes
nungss-
ärme-
Grm.
innere
auch
antem
ng der
olumen
wärme,
n, so-
selben
n, als
fischen
ein auf
wärmen
mpera-
selben

er Gase
ichung
klären.
e weit
ntfernt,
n Ver-
rungen
rsteren

Daß die Verschiedenheiten in den Ausdehnungscoefficienten diese Veränderungen nicht bedingen können, folgt aus der geringen Verschiedenheit dieser für die verschiedenen Gase.

Auch aus etwaigen Änderungen der specifischen Wärme des einen der das betreffende Gas zusammensetzenden Körper, etwa des Kohlenstoffs oder Stickstoffs, die Ursache der starken Änderungen der specifischen Wärme abzuleiten, ist nicht wohl möglich. Denn erstens zeigt der Stickstoff selbst, wie die Versuche an der Luft beweisen, keine Änderungen seiner specifischen Wärme mit der Temperatur; und ferner verändert sich auch nicht die specifische Wärme aller Kohlenstoffverbindungen (so die des Kohlenoxyds) mit der Temperatur. Man müßte bei diesem sonst mit Hrn. Fr. Weber¹⁾ annehmen, daß der in ihm enthaltene Kohlenstoff wesentlich andere Eigenschaften als der in der Kohlensäure zeigt. Unmöglich ist es freilich nicht, daß bei der Kohlensäure auch die Veränderung der specifischen Wärme des Kohlenstoffs mit zu dem Phänomen beiträgt.

Vielleicht läßt sich die Änderung der specifischen Wärme mit der Temperatur dadurch erklären, daß bei der Erwärmung der betreffenden Gase eine allmäßliche Dissociation stattfindet, die eventuell nur in einer Lockerung²⁾ des Zusammenhangs der einzelnen Atome besteht, und der ein Wärmeverbrauch entspricht. Daß bei der Zersetzung des Stickoxyduls sich eine Wärmeentwicklung zeigt, braucht der obigen Erklärung nicht zu widersprechen. Hr. Favre führt nämlich diese Wärmeentwicklung auf eine Verwandlung des im Stickoxydul enthaltenen activen Sauerstoffs in unactiven zurück. Bei den niedrigen, bei unseren Versuchen stattfindenden Temperaturen braucht die Dissociation aber noch nicht bis zur vollkommenen Zersetzung fortgeschritten zu seyn; es kann dann auch diese Umwandlung noch nicht stattgefunden haben.

Einer weiteren theoretischen Behandlung dieses Gegen-

1) Fr. Weber, Pogg. Ann. 1875, Bd. 154, p. 578.

2) Horstmann, Ber. d. Deutsch. Chem. Ges. II, p. 723.

standes müssen noch ausführlichere experimentelle Untersuchungen vorangehen. Es wird demnach meine erste Aufgabe seyn, die Versuche innerhalb weiterer Temperaturgränzen auszuführen und vor Allem auch die specifischen Wärmen der Dämpfe zu untersuchen. Ich habe bereits hierfür eine längere Reihe von Vorversuchen angestellt und dazu mit geringen Modificationen denselben Apparat benutzt, der schon für die vorliegende Arbeit gedient hat.

Die Mittheilung der hierauf bezüglichen Untersuchungen bleibt einer späteren Abhandlung vorbehalten.

II. *Ueber die akustische Anziehung und Abstossung;*

von Dr. V. Dvořák,

Privatdocenten in Prag.

Was die früheren Versuche von Guyot, Guthrie und Schellbach über diesen Gegenstand betrifft, so hat dieselben Bertin in den *Annales de Chimie et de Physique*, T. XXV, (1872), p. 199, übersichtlich zusammengestellt. Da ich die rein theoretischen Abhandlungen von Thomson (*Philos. Magazin* T. XLI) und Challis (ebendaselbst) bis jetzt nicht zu lesen bekam, so ist im Folgenden bloß auf die Untersuchungen von Guyot, Guthrie und Schellbach Rücksicht genommen.

Beobachtungen an transversal-schwingenden Stäben.

Schon Guyot (1834) untersuchte die Einwirkung eines transversal schwingenden Stabes auf ein kleines in der Nähe aufgehängtes Papierquadrat. Der Versuch ist in den *Annales de Chimie et de Physique* T. XXV, p. 200¹), auf folgende Art beschrieben:

1) Auch diese Ann. 1834, Bd. 31, S. 640.

„Une verge fixée dans un étau et mise en vibration en appuyant sur son extrémité libre, attire le pendule quand le plan du papier est parallèle au plan des vibration, est le repousse quand il lui est perpendiculaire. On suppose ici le papier parallèle aux faces de la verge; si l'on suspend le pendule perpendiculairement au dessus de la lame vibrante, il ne reste vertical qu'au-dessus d'un certain point de cette lame; à droite et à gauche il s'incline en sens contraire. — Un diapason vibrant attire le pendule par toutes ses faces“. Diese Auseinandersetzung ist aber nur theilweise richtig, denn das Verhalten eines schwingenden Stabes ist bedeutend complicirter, als es Guyot beschreibt. Bloß die zum Schlusse angeführte Beobachtung an der Stimmgabel entspricht der Wirklichkeit. Dass sich aber die Gabel ganz anders verhält, als der Stab, das röhrt nicht etwa von der eigenthümlichen Form der Gabel her.

Bei der Stimmgabel sind nämlich beide Zinken ziemlich nahe aneinander, und sie wirken somit auf das Papierquadrat beide zugleich ein. Nun kann man durch Ueberschieben einer Röhre die eine Stimmgabelzinke leicht unwirksam machen; aber auch in diesem Falle wird das Papierquadrat von der andern Zinke überall angezogen und an keiner Stelle abgestossen. Es muß also bei diesen Erscheinungen die Schwingungsdauer eine Rolle spielen. Man wird übrigens aus dem Folgenden ersehen, dass auch Stäbe mit hinlänglich kleiner Schwingungsdauer ein ähnliches Verhalten zeigen, wie die Stimmgabeln.

Ich verwendete bei meinen Versuchen einen Stab von Ahornholz, dessen freischwingender Theil 405 Mm. lang, 41 Mm. breit und 4 Mm. dick war. Der Stab führte wegen seiner geringen Dicke ziemlich langsame Schwingungen aus. Er wurde immer um etwa 2 Ctm. aus der Gleichgewichtslage gebracht und dann losgelassen. Als Versuchsobject wurde zuerst ein Papierquadrat von 1 Ctm. Seite, das auf einem dünnen Glasfaden aufgehängt war, verwendet (siehe Fig. 1, Taf. II). Der Stab wurde anfangs so gestellt, dass die breiten Seitenflächen horizontal waren.

Das Papierquadrat war einer der schmalen Seitenflächen parallel und seine Mitte befand sich mit der Mittellinie dieser Seitenfläche in derselben Horizontalebene.

In dieser Horizontalebene wurde nun das Papierquadrat parallel zu sich selbst verschoben, und zwar zuerst in einer Distanz von 3 Mm. vom Stabe $ss' tt'$ (Fig. 1, von oben gesehen, $\frac{1}{2}$ nat. Grösse); die Verschiebung geschah also in der zu st parallelen Linie sa . In jeder einzelnen Lage des Papierquadrates wurde beobachtet, ob dasselbe vom Stabe angezogen oder abgestossen wurde.

Dann brachte ich das Papierquadrat in eine andere Distanz (5 Mm.), und führte für diese Distanz eine ähnliche Versuchsreihe durch, wie für die Linie $3a$. Daselbe geschah noch für die Distanzen von 10, 20 und 30 Millimeter.

Das Resultat war sehr eigenthümlich. Befand sich nämlich das Papierquadrat mit seiner Mitte in dem von den zwei Curven ih und fg eingeschlossenen Raume, so wurde es vom Stabe abgestossen, und zwar am stärksten beiläufig in der Mittellinie kl des Raumes $ihfg$. Außerhalb dieses Raumes wurde aber das Papierquadrat vom Stabe angezogen. Natürlich sind die Curven ih und fg bei h und f noch weiter verlängert zu denken.

Was die Vorderfläche ss' des Stabes betrifft, so wird ein dieser Vorderfläche paralleles Papierquadrat innerhalb des Raumes sms' abgestossen, außerhalb aber angezogen.

Es wurde hierauf das Papierquadrat mit seiner Mitte in einer verticalen durch die Linie kl gelegten Ebene verschoben, wobei seine Fläche gerade so wie bei den früheren Versuchen stets der schmalen Seitenfläche st des Stabes parallel blieb. Das Resultat ist in der Fig. 2, Taf. II (rechte Hälfte, nat. Grösse) graphisch dargestellt. Innerhalb des von den zwei Curven no und $n'o'$ (beide Curven sind bei o und o' verlängert zu denken) eingeschlossenen Raumes wurde das Papierquadrat vom Stabe abgestossen, außerhalb desselben aber angezogen. Oberhalb des Stabes,

in dem links vor der Linie *sp* gelegenen Raume, wird das Quadrat immer gegen die Linie *M*, die auf der Stabmitte senkrecht steht, hingezogen.

Außerdem wurde das Papierquadrat in einer zweiten durch *qr* (Fig. 1, Taf. II) gelegten Verticalebene verschoben. Innerhalb des Raumes *uvw'u'* (Fig. 2, Taf. II) wurde daselbe abgestoßen, außerhalb desselben aber angezogen. Man sieht leicht ein, daß etwas ähnliches auch bei den übrigen Verticalschnitten eintreten wird, falls dieselben nur eine der Curven *ih* oder *fg* irgendwo treffen.

Als ich nun statt des Papierquadrates eine kleine Hollundermarkkugel (Durchmesser gleich 3 Mm.) an den Glasfaden befestigte, so zeigte diese ein ganz anderes Verhalten. Ich wiederholte also nochmals die zuerst erwähnten Versuchsreihen, wo das Papierquadrat in einer horizontalen durch die Stabmitte gelegten Ebene verschoben wurde, mit der Hollundermarkkugel. Stand nun das Pendel auf irgend einem Punkte der beiden Curven *hi* und *fg* (Fig 1, Taf. II), so erhielt es einen Anstofs gegen das Innere des Raumes *hifg*, dessen Richtung jedesmal zur Seitenfläche *st* des Stabes parallel war. Wurde das Pendel an andere Stellen, die nicht auf den beiden Curven *hi* und *fg* lagen, gebracht, so war die Richtung des Anstosses von Stelle zu Stelle verschieden. Es wurde nun für möglichst viele Stellen die Richtung des Anstosses bestimmt, und daraus die in der Fig. 1, Taf. II dargestellten punktierten Curven construirt. Natürlich ist diese Construction nur eine beiläufige und ungenaue.

Wenn man von der Ansicht ausgeht, daß die Bewegung des Kügelchens von Luftströmen verursacht wird, so würden diese Curven die Richtung der Luftströme in der Horizontalebene angeben. Aus diesen Curven ergibt sich auch das Verhalten des Papierquadrates von selbst. Innerhalb des Raumes *hifg* gehen nämlich alle Luftströme vom Stabe hinweg, während sie außerhalb desselben zum Stabe hingerichtet sind. Man kann sich nun jeden Luftstrom, der schief auf die Fläche des Papierquadrates trifft,

nach zwei Richtungen zerlegt denken, nämlich senkrecht zu dieser Fläche und parallel zu derselben. Bloß die Componente, welche auf der Fläche des Papierquadrates senkrecht steht, kann eine Wirkung haben, die andere bleibt fast ganz wirkungslos. So geht z. B. auf den Curven *hi* und *fg* der Luftstrom zur Fläche des Papierquadrates parallel, und er hat eben darum auch keine Wirkung auf dasselbe.

Um mittelst des Hollundermarkkügelchens die Curven der Luftströmung in dem Verticalschnitt *kl* (Fig. 1, Taf. II) zu finden, muß der Stab natürlich vertical gestellt werden. Die Bestimmung habe ich jedoch nur flüchtig angeführt, die beiläufigen Stromcurven sind in der Figur 2, Tafel II (linke *obere* Hälfte der Figur) verzeichnet. Die Pfeile geben die Richtung der Luftströme an.

Die Stromcurven für den Verticalschnitt *qr* (Fig. 1, Taf. II) werden nach meiner Vermuthung etwa so aussehen, wie es in der Fig. 2, Taf. II (linke *untere* Hälfte der Figur) angedeutet ist. Was an der Linie *vw* eintritt, wo sich die Luftströme begegnen, weiß ich nicht zu sagen. Das Papierquadrat macht an dieser Stelle gewöhnlich unruhige, unregelmäßige Bewegungen.

Um das Ganze zu vervollständigen, muß ich noch bemerken, daß ein Kügelchen oder ein Papierquadrat, dessen Fläche auf der Längsrichtung des Stabes senkrecht ist, oberhalb des Stabes stets gegen die Linie *tx* (Fig. 1, Taf. II) getrieben wird. Die Wirkung auf das Pendel ist jedoch bedeutend schwächer, wenn sich dieses über der Mittellinie des Stabes befindet, als wenn dasselbe näher an den Rand *st* oder *s't* des Stabes gestellt ist.

Bringt man eine Kerzenflamme neben den Stab, so legt sich dieselbe immer nach der Richtung der in Fig. 1, gezeichneten Stromcurve. Sie wird also, wenn sie nahe am Punkte *l* ist, vom Stabe abgestoßen, bei *i* aber angezogen. Sie verhält sich demnach ebenso wie das Hollundermarkkügelchen. Bei einer Stimmgabel verhält sich aber nach

Schellbach's Versuchen eine Kerzenflamme gerade umgekehrt, wie ein Pendel.

Bringt man das Ende eines Manometers in die Nähe von l , so zeigt es eine kleine Verdichtung an. In der Nähe von i giebt sich aber eine kleine Verdünnung zu erkennen. Wollte man die Druckverhältnisse genauer untersuchen, so müßte vor Allem der Stab ununterbrochen mit constanter Excursion schwingen, was hier nicht der Fall ist.

Soll das Manometer empfindlich seyn, so dürfen die beiden Schenkel desselben nicht parallel seyn, sondern sie müssen einen sehr stumpfen Winkel mit einander bilden. Statt Wasser ist es besser Weingeist zu nehmen, weil derselbe viel beweglicher ist, als Wasser.

Wie man sieht, sind die Verhältnisse an einem Stabe ziemlich verwickelt, und ich habe meine darüber angestellten Versuche eben nur deshalb angeführt, um auf die Complicirtheit der ganzen Erscheinung aufmerksam zu machen. Einfacher gestalten sich die Verhältnisse an einer kreisförmigen Scheibe. Ich nahm zu meinen Versuchen eine Papp scheibe (Dicke = 1 Mm., Durchmesser = 60 Mm.), die mittelst eines Stieles auf das Ende des früher erwähnten Stabes aufgesetzt wurde (Fig. 3, Taf. II, $\frac{1}{2}$ nat. Grösse). Damit die vom Stabe herrührenden Luftströmungen nicht störend einwirken, muß derselbe am Ende möglichst schmal zugeschnitten werden. Das verwendete Papierpendel p war rechteckig, 1 Ctm. breit und bloß $\frac{1}{2}$ Ctm. hoch. Es wurde mit seiner Mitte in einer durch den Mittelpunkt o der Scheibe gelegten Verticalebene, die zugleich auf der Längsrichtung des Stabes senkrecht stand, verschoben. Diese Ebene trifft die Scheibe in den Geraden fd . Die Fläche des Papierrechteckes war stets senkrecht auf dem Radius der Scheibe. Die Excursion betrug 1 Ctm. Das Resultat, welches für den Schnitt fd gefunden wurde, ist der Deutlichkeit wegen in der Ebene des Schnittes gh , die in die Ebene der Zeichnung hineinfällt, verzeichnet.

Innerhalb des Raumes abc wurde das Pendel von der Scheibe abgestossen, außerhalb desselben aber angezogen.

Würde die Scheibe während des Schwingens sich stets parallel bleiben, so wären die Verhältnisse für alle durch den Mittelpunkt o der Scheibe gelegten Verticalschnitte dieselben. Nun dreht sich auch die Scheibe etwas bei jeder Schwingung und dieses führt eine Unregelmäßigkeit herbei. Dieses sieht man am besten, wenn man statt des Papierrechteckes ein Hollundermarkkugelchen nimmt. Dasselbe stellt man gerade vertical über den Rand der Scheibe, weil daselbst eine starke Anziehung gegen das Innere der Scheibe vorhanden ist. Es wird nun bloß für den Schnitt hg , der mit der Längsrichtung des Stabes zusammenfällt, das Pendel in der Richtung des Radius gegen das Innere der Scheibe gezogen. Für die andern Schnitte fällt aber die Richtung der Anziehung nicht mit dem Radius zusammen, sondern diese Richtungen laufen beiläufig gegen einen Punkt r zusammen, der von dem festen Ende des Stabes weiter absteht, als der Mittelpunkt o der Scheibe.

Obwohl es schwer ist, sich die verwickelten Vorgänge an der Scheibe zurechtzulegen, so glaube ich doch, daß ihr Ursprung etwa folgender ist. Durch die Bewegung der Scheibe wird nicht bloß die Luft vor der Scheibe zusammengedrückt, sondern sie weicht auch nach der Seite aus und erhält somit eine Geschwindigkeit nach seitwärts. Zufolge dieser erlangten seitlichen Geschwindigkeit wird sie von der Scheibe wegströmen. Zur Wiederherstellung des Gleichgewichtes in der Luft muß aber eben deswegen wieder andere Luft zur Scheibe hinströmen. Nach meiner Ansicht ist die seitwärts ausweichende, von der Scheibe weggetriebene Luft im Raum abc (Fig. 3, Taf. II) enthalten. An allen übrigen Stellen strömt Luft zur Scheibe hin; bei b müssen sich die beiden entgegengerichteten Luftströme begegnen.

Ein Uebelstand bei den vorhin beschriebenen Versuchen ist: daß die Excursionen des Stabes ziemlich schnell abnehmen. Glücklicherweise zeigte es sich, daß bei dem

von mir verwendeten Stabe die Gröſſe der Excursion nur einen geringen Einfluss hatte. Als ich jedoch einen anderen Stab von Ahornholz untersuchte, der bei derselben Länge und Breite $1\frac{1}{2}$ mal dicker war als der zuerst verwendete, so wurde bei kleineren Excursionen des Stabes ein Pendel an allen Stellen vom Stabe angezogen. Der Stab verhielt sich also ähnlich wie eine Stimmgabel. Erst wenn man unter Anwendung von einiger Gewalt den Stab ziemlich weit aus der Gleichgewichtslage entfernte, so zeigte er dieselben Erscheinungen, wie sie an dem zuerst erwähnten dünnern Stabe beschrieben wurden. Ein Stahlstab, dessen freischwingendes Ende 270 Mm. lang, 20 Mm. breit und 3,5 Mm. dick war, zeigte auch bei den größten Excursionen, die ihm durch Streichen mit einem Bogen verliehen wurden, überall nur Anziehung.

Die Anziehung, welche bei einem hinlänglich rasch freischwingenden Körper auftritt, hat nach meiner Ansicht, die ich im Folgenden näher auseinander setzen will, nicht den Grund in Luftströmungen. Vielmehr glaube ich, daß sich die Luftströmungen bei rasch schwingendem Körper beinahe ganz in das Schwingungsfeld zurückziehen. Daß aber im Schwingungsfelde Luftströmungen vorhanden sind, dafür spricht folgender Versuch. Man stelle eine Stimmgabel so auf, daß die Zinken in eine horizontale Lage kommen und daß eine Zinke gerade vertical über der andern steht. Streut man Kieselsäure auf eine horizontal liegende Zinkenfläche, so sammelt sich diese beim Tönen der Stimmgabel sogleich auf der Mittellinie der Zinkenfläche zu einem scharfen Streifen an. Derselbe Versuch gelingt auch mit dem vorerwähnten Stahlstabe. Diese Anhäufung der Kieselsäure könnte eine Folge der in Fig. 1, Taf. II dargestellten nach der Stabmitte gerichteten Luftströmungen seyn. Auch kann man an das Ende eines longitudinal schwingenden Glasstabes eine runde Metall- oder Glasscheibe (Durchmesser = 27 Mm.), deren Fläche senkrecht ist zur Längsrichtung des Stabes, anmachen. Der Stab wird in einer verticalen Lage an zwei Stellen,

die Knotenpunkte sind, befestigt. Das Befestigen an zwei Punkten hat den Zweck, die Querschwingungen des Stabes möglichst zu verhindern. Auf die am Stabe befestigte Scheibe, deren Fläche horizontal liegt, wird Kieseläsäure gestreut. Trotzdem die Excursionen des Stabes außerordentlich klein sind, so sammelt sich die Kieseläsäure schon bei ganz schwachem Streichen augenblicklich in der Mitte der Scheibe an. Die Vergleichung mit den Erscheinungen an der in Fig. 3, Taf. II dargestellten Scheibe ist sehr naheliegend.

Es ist jedoch wahrscheinlich, dass die Luftströmungen auch ein wenig über das Schwingungsfeld hinausreichen. Dafür spricht folgender Umstand: es wird bei dem früher erwähnten Stahlstabe ein Papierquadrat, welches der schmalen Seitenfläche des Stabes parallel ist, nie bis zur Berührung mit dem Stabe angezogen, sondern es bleibt immer etwa auf 1 Mm. von demselben entfernt. Ich glaube, dass dieses von der seitwärts ausweichenden Luft herrührt, welche das Papierquadrat hindert, bis in unmittelbare Berührung mit dem Stabe zu treten.

Wirkung eines Schirmes in einer Schallwelle.

Vor das Resonanzkästchen einer Stimmgabel¹⁾ wird in einer Entfernung von 5 bis 6 Ctm. von der Oeffnung des Kästchens ein ebener, verticaler Schirm angebracht, dessen Fläche der Oeffnungsfläche des Kästchens parallel ist. Dieser Schirm ist auf einer Seite mit einer verticalen

1) Sollen die Versuche gut gelingen, so muss das Resonanzkästchen sehr gut auf die Stimmgabel abgestimmt seyn, was gewöhnlich nicht der Fall ist. Man überzeugt sich durch schwaches Darüberblasen über die Oeffnung des Kästchens, ob sein Ton mit dem der Stimmgabel übereinstimme. Ist die Abstimmung genau, so klingt zwar die Gabel stark, sie schwingt aber sehr bald aus. Verändert man durch teilweises Bedecken der Oeffnung die Stimmung des Kästchens, so tönt die Stimmgabel sehr lange Zeit hindurch. Ich benutzte bei meinen Versuchen stets eine Stimmgabel von 425 ganzen Schwingungen, mit sehr starken Zinken (15 Mm. breit, 8 Mm. dick), die ungemein lang tönte, wenn das Kästchen nicht auf dieselbe abgestimmt war.

Linie begrenzt und diese Begränzungslinie steht gerade vor der Mitte der Oeffnung des Kästchens. Es wird somit durch diesen Schirm, den man sich an einer Seite unbeschränkt gross vorstellen kann, die Hälfte der aus dem Resonanzkästchen tretenden Schallwelle abgefasst. Es zeigt sich nun, dass von dem Rande des Schirmes ein kleines Pendel angezogen wird, während die Fläche des Schirms selbst bis auf eine ganz kleine Distanz vom Schirmrande nicht die geringste Wirkung zeigte. Ich verwendete als Pendel ein kleines Hollundermarkkugelchen, das an einem feinen Glasfaden aufgehängt war. Als Schirm diente anfangs eine Platte von 2 Mm. Dicke. Die stärkste Anziehung auf das Pendel äussert der Rand des Schirmes beiläufig in einer Richtung, die auf der Fortpflanzungsrichtung der aus dem Resonanzkästchen heraustretenden Schallwellen nahezu senkrecht steht. Aber auch in allen übrigen Richtungen äussert sich die Anziehung des Schirmrandes auf das Pendel. So wird z. B. das Pendel auch dann zu dem Schirmrande hingezogen, wenn es sich fast unmittelbar vor dem Schirme und in einer kleinen seitlichen Entfernung von der Kante desselben befindet. Ja selbst in dem Falle, wenn sich das Pendel *hinter* dem Schirme in einem kleinen seitlichen Abstande von der Kante befindet, wird es gegen die Kante des Schirms gezogen, wenn auch mit geringerer Intensität, wie in dem zuvor betrachteten Falle. Die Distanz, auf welche sich die Anziehung erstreckt, ist aber in jedem Falle sehr klein, nämlich etwa 2 Mm. Die Dicke des Schirms kann auch sehr klein seyn; so äussert z. B. der Rand von einem Stück Rauschblech oder die Schneide eines Rasirmessers auch eine Anziehung auf das Pendel. Ja auch ein Glasstab von 4 Mm. Durchmesser, den man vertical vor die Oeffnung des Kästchens stellt, übt eine schwache Anziehung aus, jedoch nur in einigen wenig von einander abweichenden Richtungen, die nahezu auf die Fortpflanzungsrichtung der Schallwellen senkrecht stehen. Doch äussert so ein Glasstab noch immer mehr anziehende Kraft, als ein ebener Streifen von geringer Dicke, dessen

Breite den Durchmesser des Glasstabes bei weitem übertrifft. So zeigt eine Messingklinge von 1 Ctm. Breite, deren Fläche senkrecht ist zur Fortpflanzung der Schallwellen, fast gar keine Wirkung.

Stellt man den Schirm so, daß seine Ebene zur Fortpflanzungsrichtung der Schallwellen parallel ist, so zeigt er nicht die geringste Anziehung.

Die Wirkung der Ränder kann man übrigens auch an der Oeffnung des Resonanzkästchens sehen. Ist nämlich das Kugelchen des Pendels in der Ebene dieser Oeffnung, so wird es immer zu demjenigen Oeffnungsrande hingezogen, von welchem es gerade am wenigsten entfernt ist. Bei diesem Versuche muß man natürlich das Kästchen so stellen, daß die Ebene der Oeffnung horizontal liegt.

Schellbach bemerkte bekanntlich, daß ein Papierquadrat von einer Spalte in einem Schirme angezogen wurde. Diese Anziehung röhrt jedoch, wie ich mich überzeugt habe, von den *Rändern* der Spalte her, indem ein hinlänglich kleines Pendel immer von derjenigen Kante der Spalte (Schellbach's Spalte war 15 Mm. breit) angezogen wird, zu welcher es näher gestellt ist.

Ich halte es für wahrscheinlich, daß die akustische Anziehung eines Pendels von einer Tonquelle mit den Erscheinungen an Schirmen irgendwie zusammenhängt. Ein kleines Papierquadrat oder ein Kugelchen in der Nähe eines tönenden Körpers stellen ebenfalls einen kleinen Schirm vor. Danach wäre vielleicht die akustische Anziehung als eine Wirkung der Reflexion des Schalles an den Rändern anzusehen.

Dafs die aukustische Anziehung mit der Reflexion des Schalles zusammenhängt, dafür sprechen auch die Versuche Schellbach's, nach welchen Körper, die dünner sind als Luft, von der Tonquelle abgestossen, die dichteren hingegen angezogen werden. Dieses könnte damit in Beziehung stehen, daß an dünneren Medien der Schall ganz anders reflectirt wird, als an dichteren.

Akustische Abstofzung und Anziehung von Resonatoren.

Zu diesen Versuchen nimmt man am besten eine kräftig tönende Kundt'sche Schallröhre ab (Fig. 4, Taf. II), die an der einen Seite (bei *a*) offen ist. Da an dem offenen Ende der Röhre bei *a* stets ein Bauch ist, so tönt die Luftsäule dann am stärksten, wenn an das Ende *c* des tonerregenden Glasstabes gerade ein Knoten fällt.

Es wird nun eine an beiden Enden offene dünnwandige Glasröhre (Durchmesser = 12 Mm., Wanddicke = 0,3 Mm.) auf den Ton der Kundt'schen Röhre abgestimmt. Dieses darf nicht etwa so geschehen, daß man bei der Kundt'schen Röhre an der Staubfigur eine halbe Wellenlänge abmisst, und die Glasröhre nach diesem Maafse abschneidet; denn dann ist der Ton der Glasröhre zu tief, und zwar deshalb, weil die Luft eine merkliche Strecke über die Enden der Röhre hinausschwingt. Man muß also durch schwaches Darüberblasen den Ton der Glasröhre mit dem der Kundt'schen Röhre vergleichen.

Die abgestimmte Glasröhre *df* wird auf etwa 2 bis 3 Ctm. Entfernung vor das offene Ende *a* der Kundt'schen Röhre auf zwei Fäden aufgehängt, so daß die Axen beider Röhren in dieselbe Gerade fallen. Beim Ertönen der Kundt'schen Röhre wird nun das Glasröhren sehr heftig abgestoßen. Die Abstofzung zeigt sich jedoch auch dann, wenn ein Oberton des Glasröhrens mit dem Tone der Kundt'schen Röhre übereinstimmt, also wenn sein Grundton z. B. um eine oder zwei Octaven tiefer ist, als der Ton der Kundt'schen Röhre.

Selbstverständlich gelingen diese Versuche auch mit Glasröhren, die an einem Ende geschlossen sind, nur ist die Abstofzung einer an beiden Seiten offenen Röhre viel überraschender, weil man nicht weiß, wo der Angriffspunkt der abstoßenden Kraft zu suchen ist. Man kann den Versuch auch mit dem Resonanzkästchen einer stark tönenden Stimmgabel anstellen. Zu diesem Zwecke wird ein möglichst leichter cylindrischer Resonator aus steifem Papier gemacht, und diesen hängt man nahe vor

die Oeffnung des Resonanzkästchens auf zwei Fäden auf (Fig. 5, Taf. II). Die Abstossung des Resonators ist sehr merklich¹⁾.

Die Abstossung des Röhrchens ist natürlich um so stärker, je genauer der Ton des Röhrchens mit dem der Kundt'schen Röhre übereinstimmt. Es dauert jedoch die Abstossung auch bei ziemlich starker Verstimmung des Röhrchens fort, und sie geht erst bei einer gewissen Gränze in *Anziehung* über. Ich suchte diese Gränze für ein Glasrörchen auf, welches auf einer Seite mit einem verschiebbaren Korke geschlossen war. War das Röhrchen genau abgestimmt, so betrug die Länge der Luftsäule 29 Mm., aber erst bei der Länge von 41 bis 45 Mm., wo der Ton des Röhrchens schon um eine Quinte tiefer war, als der Ton der Kundt'schen Röhre, begann die Anziehung.

Mit der *Erhöhung* des Tones darf man nicht mehr so weit gehen, wie mit der Vertiefung desselben. So wurde das Glasrörchen schon bei einer Verkürzung um 2 Mm., also bei einer Länge von 27 Mm. angezogen. Außerdem zeigt sich hierbei ein sehr eigenthümlicher Umstand.

1) Während man sonst einen Ton durch Resonanz zu verstärken pflegt, so muss es anfangs auffallend erscheinen, dass durch einen in die Nähe der Kästchenöffnung gebrachten Resonator der Ton außerordentlich geschwächt wird.

Man gebe z. B. eine genau abgestimmte, an beiden Enden offene Röhre nahe vor die Oeffnung des Resonanzkästchens; der Ton wird augenblicklich sehr schwach. Er schwillt jedoch mächtig an, wenn man das von dem Kästchen abgewendete Ende der Röhre mit der Hand verschließt und so die Resonanz der Röhre vernichtet. Ebenso gut gelingt der Versuch mit einem Helmholtz'schen Resonator, bei welchem man, um denselben zu verstimmen, mit einem vorgehaltenen Stück Pappe die Oeffnung theilweise verschließt. Am auffallendsten ist die Anschwellung des Tones bei einer auf die Gabel gestimmten Kautschukmembran, welche ganz nahe vor die Kästchenöffnung befestigt wird. Jedesmal wenn man mit einem Stifte die Membran berührt, schwillt der Ton wie mit einem Schläge an. Ueber die Schwächung des Tones durch einen mitschwingenden Körper siehe übrigens die sehr merkwürdigen Versuche von Grimon (*Ann. de Chimie* 1874, T. III, p. 343, „*Sur les vibration de l'air*“).

Läßt man nämlich die Kundt'sche Röhre sehr stark ertönen, so wird das Röhrchen bei dieser Länge von 27 Mm. noch abgestossen, und nur bei nicht allzu starken Tönen wird es angezogen. Auch bei der Länge von 23 Mm. (der Ton ist hiebei um eine kleine Terz höher, als der Ton der Kundt'schen Röhre) wurde das Glasrörchen bei schwachen Tönen angezogen, bei starken abgestossen. Doch konnte man diese Abstosfung leicht in Anziehung verwandeln, wenn man das Glasrörchen in eine etwas gröfsere Distanz von der Kundt'schen Röhre brachte. Es zeigt sich also, dass bei einem starken Tone das Röhrchen *für kleinere Distanzen abgestossen, für gröfsere angezogen wurde.*

Verkleinert man die Länge der Luftsäule im Röhrchen bis auf 21 Mm., so wird dasselbe unter allen Umständen *angezogen*, der Ton mag schwach oder stark, die Distanz kleiner oder gröfsier seyn.

Ich untersuchte nun weiter, wie *zwei* auf den Ton der Kundt'schen Röhre genau abgestimmte, gedeckte Glasrörchen gegenseitig auf einander wirken. Es wurden zwei solche Röhrchen *hi* und *kl* (im oberen Theile der Fig. 4, Taf. II schematisch gezeichnet) mit den offenen Enden einander gegenüber horizontal aufgehängt, so dass ihre Axen in dieselbe Gerade fielen. Der Abstand der offenen Enden betrug 5 Mm. Nun wurde in einer Distanz von 30 Mm. eine Kundt'sche Röhre *a'b'* so aufgestellt, dass ihre verlängerte Axe senkrecht stand auf den Axen der beiden Röhrchen und gerade in die Mitte ihres gegenseitigen Abstandes hineinfiel. Man sollte nun erwarten, dass die zwei Röhrchen, da sie beide denselben Ton geben, sich abstoßen würden, sie ziehen sich aber bis zur Be- rührung an. Waren die Röhrchen nicht auf den Ton der Kundt'schen Röhre abgestimmt, so war die Anziehung je nach dem Grade der Verstimmung unmerklich oder = 0.

Ein Versuch, der ebenfalls ziemlich paradox erscheint, ist folgender. Wenn man den tonerregenden Glasstab aus

der Kundt'schen Röhre herausnimmt, und dann nahe vor das Ende desselben ein genau abgestimmtes (gedecktes) Röhrchen bringt, so wird dasselbe nicht abgestossen, wie man erwarten möchte, sondern angezogen.

Erscheinungen an Luftsäulen, die in stehenden Schwingungen begriffen sind.

I.

In jeder Luftsäule, die stehende Schwingungen ausführt, zeigt ein Manometer im Schwingungsknoten einen kleinen Druck an; vom Knoten gegen den Bauch nimmt dieser Druck stetig ab und er ist im Bauche sehr klein oder beinahe = 0. Diese Thatsache lässt sich überall mit Leichtigkeit nachweisen. Man macht zu diesem Zwecke ein recht empfindliches Manometer, wie solches gleich anfangs besprochen wurde. Das Ende des Manometers, welches in die schwingende Luftsäule eingeführt wird, muss natürlich hinreichend lang seyn. Um sehr kleine Druckänderungen nachzuweisen, nimmt man eine ganz gerade, horizontale Röhre mit einem Weingeist-Index darin. Damit durch das Einführen des Manometerendes in die Luftsäule keine grosse Störung der Schwingungsverhältnisse von verhältnismässig kleinem Querschnitt leicht eintreten könne, so soll das Manometer aus einer recht dünnen, jedoch gleichmässigen Glasröhre verfertigt seyn.

Die Versuche kann man auf sehr verschiedene Art anstellen. Wenn man z. B. das Ende des Manometers in das Resonanzkästchen einer Stimmgabel einführt, so ist der Druck desto grösser, je tiefer das Manometerende in das Kästchen eingeführt wird. Stellt man einen genau abgestimmten Resonator nahe vor das Kästchen, so kann man an dem Resonator dasselbe nachweisen. Als Resonator kann nun auch eine an beiden Enden offene Glasröhre dienen; dann zeigt sich der grössste Druck in der Mitte der Röhre.

In allen Fällen gilt aber als Regel, dass in der Ebene der Oeffnung des Resonators immer, wenn auch fast un-

merkliche Verdichtung angegeben wird. Dieses führt wahrscheinlich davon her, daß die stehende Welle immer etwas über die Ebene der Öffnung hinausragt, wie dieses ja bei Pfeifen allgemein bekannt ist.

In einer Kundt'schen Röhre ist natürlich der Druck im Knoten viel größer, als bei einem Resonator. Ich habe schon in einer früheren Mittheilung („Ueber einige neue Staubfiguren“ Sitzungsber. 1874) darüber folgendes angeführt: Giebt man in den Kork, welcher das Ende der Kundt'schen Röhre verschließt, ein kleines Manometer, so zeigt es beim Streichen eine Druckvermehrung von etwa 1 Ctm. Wasser, jedoch nur dann, wenn die Länge der Luftsäule ein Vielfaches von einer halben Wellenlänge beträgt. Läßt man den Kork an der Knotenstelle, und schiebt das Ende des Manometerröhrchens so weit hinein, bis es in der Mitte des Bauches steht, so zeigt sich keine Druckvermehrung. Die Erscheinung ist wahrscheinlich der von Kundt bei gedeckten Pfeifen beobachteten analog. Die Erklärung, durch den aus dem Kernspalt dringenden Luftstrom, wie sie Kundt annimmt, ist natürlich hier nicht zulässig, und scheint auch für Pfeifen nicht die richtige zu seyn, wie ich schon früher einmal (Sitzungsber. 1873 „Ueber das Kundt'sche Manometer“ — auch diese Ann. Bd. 150, S. 410) bemerkt habe.

Ich muß jedoch hinzufügen, daß nach den späteren Versuchen, die ich mit empfindlichen Manometern ange stellt habe, *sich auch im Schwingungsbauche eine kleine Verdichtung zeigt*. Ich werde auf diesen Umstand im Späteren noch einmal zurückkommen.

Aus der Druckvertheilung in der Kundt'schen Röhre erklärt sich nun der von mir früher einmal beschriebene Versuch¹), bei welchem das Wasser in der Kundt'schen Röhre zu den Bäuchen getrieben wird, von selbst. Es ist in der betreffenden Mittheilung über diesen Versuch Folgendes bemerkt: Merkwürdig ist es, daß selbst Wasser in der Kundt'schen Röhre zu den Bäuchen getrieben wird,

1) „Ueber einige neue Staubfiguren“ (Sitzungsber. 1873. — Auch diese Ann. Bd. 153, S. 102).

und sich daselbst zu einer Wand anstaut. Ich nahm eine zuvor gut mit Weingeist ausgewachsene Röhre, machte die Länge der Luftsäule = 2 halben Wellenlängen, und goß soviel gefärbtes Wasser hinein, daß es, wenn die Röhre horizontal war, über der tiefsten Stelle des Röhrenquerschnittes etwa 2 Mm. hoch stand. Beim Streichen bildete sich im Bauche eine Rippe von Wasser (Fig. 6, Taf. II), die bei jedem starken Strich den ganzen Röhrenquerschnitt ausfüllte.“

Das Ganze hat nun darin seinen Grund, daß zufolge des an den Knoten herrschenden nicht unbedeutenden Druckes das Wasser dort von oben her gedrückt wird; es muß somit nach der Seite ausweichen und sich im Bauche anstauen, wo der Druck fast unmerklich ist.

II.

Dieser Ueberdruck in dem Knoten einer schwingenden Luftsäule hat nun darin seinen Grund, daß die Amplitude der Schwingungen nicht gegen die Wellenlänge verschwindet. Es hat mich gelegentlich Hr. Prof. Mach darauf aufmerksam gemacht, daß in diesem Falle die Verdünnung kleiner ausfällt als die Verdichtung, daß mithin der mittlere Druckzuwachs nicht = 0 seyn kann.

Dieses kann man ohne Schwierigkeit einsehen. Es sollen nämlich x und $x + dx$ die Abscissen zweier Theilchen, ξ und $\xi + d\xi$ die zugehörigen Excursionen vorstellen. Ist dx die Entfernung der Theilchen in der Ruhelage, so ist sie $dx + d\xi$ in der Excursion. Nimmt man die Dichte des ruhenden Mediums als Einheit, so drückt sich jene des bewegten einfach durch

$$\frac{dx}{dx + d\xi} = \frac{1}{1 + \frac{d\xi}{dx}}$$

aus, was sich auf $1 - \frac{d\xi}{dx}$ reducirt, wenn man die Excursionen als sehr klein betrachtet. Die Dichtenänderung ohne Rücksicht auf das Zeichen ist also $= \frac{d\xi}{dx}$, wobei ξ die Ex-

cursion als Function der Abscisse x und der Zeit t gegeben ist¹).

Wenn nun die Excursionen nicht als verschwindend klein betrachtet werden können, so ist

$$\frac{1}{1 + \frac{d\xi}{dx}} = 1 - \frac{d\xi}{dx} + \left(\frac{d\xi}{dx}\right)^2.$$

Die Verdichtung ist demnach, wenn man die übrigen Glieder vernachlässigt,

$$\frac{d\xi}{dx} + \left(\frac{d\xi}{dx}\right)^2,$$

die Verdünnung jedoch

$$- \frac{d\xi}{dx} + \left(\frac{d\xi}{dx}\right)^2.$$

Der mittlere Druckzuwachs für eine bestimmte Abscisse ist somit

$$\int_{t=0}^{t=T} \left(\frac{d\xi}{dx}\right)^2 \frac{dt}{T},$$

wobei T die Schwingungsdauer vorstellt.

Ich will nicht weiter auf die Sache eingehen; soviel glaube ich jedoch annehmen zu dürfen, dass man aus dem mittleren Druckzuwachs, der leicht experimentell bestimmt werden kann, die Größe der Verdichtung, und somit auch die Excursionen der Luft berechnen könnte. Jedoch wäre diese Bestimmung keine sehr genaue, weil der mittlere Druckzuwachs in Wirklichkeit immer sehr klein ist, und man bei seiner Messung leicht einen verhältnismässig grossen Fehler begehen kann. Für das Resonanzkästchen einer Stimmgabel betrug z. B. der mittlere Druckzuwachs im Knoten blos 2 Mm. Wasser.

III.

Die eigenthümliche Druckvertheilung in einer schwingenden Luftsäule hat eine sehr merkwürdige Bewegung

1) Diese Ableitung des Druckes aus der Excursion findet sich in den „Optisch akustischen Versuchen“ (Prag, Calve 1872) von Professor E. Mach.

der Luft zur Folge. *Da nämlich der mittlere Druck von den Knoten gegen die Bäuche stetig abnimmt, so muß die Luft nothwendig von den Knoten gegen die Bäuche strömen.*

Man kann sehr leicht durch die Versuche bestätigen, daß diese Strömung wirklich eintritt. Füllt man z. B. das Resonanzkästchen der Stimmgabel mit Salmiakrauch, so fährt derselbe beim Streichen der Stimmgabel mit wirbelnder, unruhiger Bewegung aus dem Kästchen heraus. Sehr gut gelingt auch dieses Herausströmen des Rauches bei einem in der Nähe der Kästchenöffnung aufgestellten kugelförmigen Helmholtz'schen Resonator. Mit einer einseitig gedeckten Glasröhre, die auf den Ton der Gabel abgestimmt ist, gelingt aber der Versuch fast gar nicht; es schwächt nämlich der hineingebrachte Salmiakrauch bei so einer Röhre die Resonanz allzusehr. Davon überzeugt man sich sehr leicht. Bläst man nämlich über die Oeffnung der Glasröhre, solange noch kein Rauch darin ist, so giebt sie einen reinen, starken Ton. Der Ton verlöscht jedoch ganz, wenn Salmiakrauch in die Röhre hineingebracht wird.

Ein merkwürdiger Umstand tritt bei den Röhren auf, die an beiden Seiten offen sind. Stellt man so eine möglichst genau abgestimmte Glasröhre in einer horizontalen Lage nahe vor die Oeffnung des Resonanzkästchens einer Stimmgabel, so fährt der sämmtliche Rauch immer bei demjenigen Röhrende heraus, welches den größeren Querschnitt hat. Bei einer 395 Mm. langen, etwas conischen Glasröhre, die an dem einen Ende 17 Mm., auf dem anderen 13 Mm. im Durchmesser hatte, *entleerte sich der Rauch fast momentan durch das weitere Ende*. Aber selbst bei Röhren, die kaum merklich conisch sind, und wo man sich nur mit Mühe von der ungleichen Breite der beiden Oeffnungen überzeugen kann, strömt der Rauch immer durch das weitere Ende heraus; jedoch muß man die Stimmgabel mehrmals nach einander streichen, um den Rauch vollständig durch das breitere Ende zu entfernen.

IV.

Es ist also gar keinem Zweifel unterworfen, daß die Luft wirklich von den Knoten zu den Bäuchen strömt. Doch ist dabei Folgendes zu beachten. Es scheint, daß diese Strömung sehr bald ihr Ende erreichen müßte, nämlich dann, wenn durch die zu den Bäuchen getriebene Luft sich der Druck überall ausgeglichen hätte. Der Grund, daß diese Strömung fortduert, scheint nun folgender zu seyn. Es sind nämlich in dem ganzen Röhrenquerschnitte die Verhältnisse nicht immer dieselben; an den Wänden der Röhre sind die Excursionen der Luft wegen der Reibung kleiner, als in der Mitte der Röhre. Dieser Unterschied in der Gröfse der Excursionen muß dann besonders groß seyn, wenn die Schwingungen in der Röhre sehr heftig sind, denn dann ist auch die Reibung an den Wänden sehr groß. Aufserdem wird durch diese Reibung im Schwingungsbauche Wärme entwickelt, welche daselbst die Spannkraft der an den Röhren befindlichen Luft etwas vergrößert. Ohne weiter in theoretische Betrachtungen hineinzugrathen, will ich blos anführen, was thatsächlich geschieht. *Es strömt nämlich an den Röhrenwänden die Luft von dem Bauche zu dem Knoten, im Inneren der Röhre jedoch von dem Knoten zu dem Bauche.*

Diese Thatsache läßt sich durch die Betrachtung der Staubfiguren in der Kundt'schen Röhre ganz deutlich nachweisen. Ich habe eine detaillierte Beschreibung dieser Staubfiguren schon in einer früheren Mittheilung¹⁾ gegeben. Zur Erzeugung der Staubfiguren wurde *Kiesel säure* und *Lycopodium* verwendet. Die Kiesel säure eignet sich vorzugsweise zur Nachweisung der Luftbewegung, die im Inneren der Röhre in einem merklichen Abstande von der Röhrenwand herrscht, und zwar aus dem einfachen Grunde, weil sie wegen ihrer großen Leichtigkeit und Feinheit schon bei dem geringsten Anlasse aufwirbelt und sich vom Boden der Röhre emporhebt: sie tritt also sogleich aus der Sphäre des knapp an der Röhrenwand fort-

1) „Ueber einige neue Staubfiguren, (Sitzungsber. 1873).

gleitenden gegen den Knoten gerichteten Luftstromes. Man sieht also an der Kieselsäure vorzugsweise die Wirkungen des von dem Knoten gegen den Bauch gerichteten Luftstromes, und die Kieselsäure bewegt sich somit zu den Bäuchen. Dieses ist in der früher angeführten Mittheilung auf folgende Art beschrieben: „Streicht man etwas stärker, so bildet sich eine einfache Staubwand $\alpha\beta\gamma\delta$ (Fig. 7, Taf. II) im Bauche. Beim Ausklingen zerheilt sich jede Staubwand in zwei Staubwolken, die von einander stürzen, so treffen die gegen einander gerichteten zwei Staubwolken von zwei benachbarten Staubwänden in der Nähe des Knotens aufeinander, wodurch viel Staub auf die Knotenstellen gelagert wird“.

Dieses Auseinandertreten der Staubwand beim Ausklingen erkläre ich mir auf folgende Art: Es hat sich im Bauche der Welle durch das Zusammenströmen die Luft etwas verdichtet. Es ist im Früheren bemerkt worden, daß ein Manometer im Bauche der Welle eine kleine Verdichtung zeigt. Nach dem Aufhören des Tones gleicht sich nun diese durch Anstauung der Luft entstandene Verdichtung nach beiden Seiten aus, wodurch momentan zwei vom Bauche gegen die Knoten gerichtete Luftströme entstehen.

Sehr gut sieht man auch die Bewegung der Kieselsäure zu den Bäuchen, wenn man nahe vor die Oeffnung des Resonanzkästchens einer Stimmgabel eine genau abgestimmte beiderseits offene Glasröhre mit Kieselsäure bringt. Diese Röhre wird mit einer Libelle genau horizontal gestellt. Beim Tönen der Stimmgabel bilden sich Rippen in der Glasröhre, die sich mit großer Gleichmäßigkeit gegen die Enden der Röhre bewegen, wo dann die Kieselsäure aus der Röhre heraustritt und herabfällt.

Was nun die Nachweisung des an *der Röhrenwand befindlichen Stromes* betrifft, so eignet sich dazu *Lycopodium* viel besser als *Kieselsäure*, weil es sich schwerer hebt, und deshalb immer nahe an dem Boden der Röhre bleibt.

Doch kann man auch mit Kieselsäure, wenn man *außerordentlich wenig* davon nimmt, das *Lycopodium* ersetzen¹⁾ , und umgekehrt ersetzt auch das *Lycopodium*, wenn man etwas mehr davon nimmt, die Kieselsäure.

Soll der Luftstrom an den Röhrenwänden merklich seyn, so ist es nothwendig, dass die Luftströmungen sehr heftig seyen, was nur bei gedeckten Kundt'schen Röhren eintritt, wo die Länge der Luftsäule einem Vielfachen von einer halben Wellenlänge gleich ist.

Die Staubfiguren, an denen man die Wirkung des an der Röhrenwand befindlichen Stromes sehen kann, sind in der vorhin angeführten Mittheilung auf folgende Art beschrieben: „Macht man die Länge der Luftsäule gleich einigen wenigen Halbwellen, etwa vier, so sieht man bei näherer Untersuchung mehrere Erscheinungen von meistens sehr variabler Natur, die oft sehr sonderbar sind. Giebt man z. B. sehr wenig *Lycopodium* in die Röhre und streicht die Röhre etwa drei- bis viermal sehr mässig, so sieht man, wenn man mitten im Strich die tönende Röhre festhält, matte gegen den Knoten hin gekrümmte Rippen (Fig. 8, Taf. II A). Beobachtet man die Rippen während die Röhre tönt, so scheint es, als ob sich von einem Knoten zum andern zwei *Rippensysteme in entgegengesetzter Richtung hindurch bewegen würden*. Bei etwas näherer Betrachtung der Rippen sieht man ihre dünnen Enden gegen den Knoten, ihre Mitten aber gegen den Bauch sich hinbewegen, was also auch die gekrümmte Form derselben erklären würde“.

„Setzt man das Streichen einige Zeit fort, so verschwinden bald die Rippen von der Mitte des Bauches, und wenn man dann mitten im Striche anhält, so erhält man die in Fig. 8, Taf. II B dargestellte Form. Streicht man etwas stärker, so entfernen sich die Gränzen *g* und *g'* von einander und nähern sich dem Knoten, ohne ihn jemals zu erreichen; sobald jedoch der Stab anfängt aus-

1) Das Nähere darüber findet sich in der schon mehrmals angeführten Mittheilung („Ueber einige neue Staubfiguren“).

zuklingen, so nehmen sie fast augenblicklich ihre alte Stelle ein¹⁾.

„Ist außerordentlich wenig *Lycopodium* an den Wänden der Röhre gleichmäßig vertheilt, so bildet sich gleich beim ersten kurzen, mäßigen Strich die Form in Fig. 9, Taf. II, die natürlich der in Fig. 8, Taf. II B dargestellten analog ist. Ist hingegen etwas zu viel Staub in der Röhre, so gelingt es auch nach längerem Streichen fast gar nicht, die Fig. 8, Taf. II B hervorzubringen“.

Man sieht also an der Fig. 8, Taf. II A sowohl die Wirkung des Wandstromes, als auch die des inneren Stromes. Der Gipfel der Rippen, welcher etwas tiefer in das Innere der Röhre hineinragt, folgt dem inneren Strom, der untere Theil der Rippen, welcher knapp an der Röhrenwand liegt und die dünnen Enden der Rippen, von denen dasselbe gilt, folgen dem Wandstrome. Die Rippen nämlich, welche das *Lycopodium* in diesem Falle bildet, sind nicht compact, wie man das oft an Kiesel-säurerippen nach längeren Tönen sieht, sondern sie bilden schütttere, sehr lockere Staubwände, durch welche die Luft leicht hindurchgeht.

Man sieht zugleich aus der obigen Beschreibung, daß die *Staubmenge* auf die Erscheinungen von großem Einfluß ist. Ist nämlich viel Staub in der Röhre, so wirbelt er stark auf, und die Hauptmasse des Staubes gelangt so in den Bereich des inneren Stromes. Es gelingt somit nicht den Staub aus der Mitte des Bauches wegzubringen, sondern es häuft sich vielmehr der Staub daselbst an.

Ist aber wenig Staub in der Röhre, so überwiegt die Wirkung des Wandstromes, und die Mitte des Bauches wird bald staubfrei. So entsteht die Fig. 8, Taf. II B und die Fig. 9. Ich sah übrigens öfter bei genauerer Betrachtung *einzelne* an dem Boden der Röhre liegende Staubkörner sich gegen den Knoten bewegen.

1) Dieses Zurückgehen des Staubes an den Boden der Röhre beim Aufhören des Tones dürfte einen ähnlichen Grund haben, wie das früher besprochene Auseinandertreten der Staubwand im Bauche.

V.

Man sieht jedoch in einer Kund'schen Röhre außer den zuvor beschriebenen Bewegungen der Kiesel säure und des Lycopodiums zugleich noch eine *Bewegung des gesamten Staubes von dem A-Ende des tonerregenden Glasstabes gegen das andere Ende B der schwingenden Luftsäule*¹⁾.

Es sieht auch die Staubfigur in einer sehr langen Röhre (3 Meter) bei A ganz anders aus, als bei B. Bei A finden sich nämlich starke Rippen, diese erstrecken sich selbst über die Knoten, nur sind sie dort etwas dichter. Bei B hingegen ist die Löcherfigur zu sehen, wobei die Rippen sehr schwach sind. Diese Ungleichheit in der Staubfigur erklärte ich dadurch, daß „die vom tönenden Glasstabende ausgehende Schallwelle auf dem langen Wege bis zum Röhrenende und nach der Reflexion wieder beträchtlich geschwächt wird, so daß in der Nähe des tönenden Glasstabendes keine reine stehende Welle entstehen kann, sondern eine stehende Welle, über welche sich eine fortlau- fende darüberlegt“.

Ich glaube nun, daß diese fortlauende Welle die Ursache der Bewegung des Staubes von A gegen B ist. Es kann nämlich auch in einer fortlauenden Welle der mittlere Druckzuwachs nicht = 0 seyn. Hätte die fortlauende Welle auf ihrer ganzen Ausdehnung überall dieselbe Stärke, so wäre dieser Druckzuwachs überall gleich. Nun ist sie (wie man aus der Staubfigur schließen kann) bei A stärker als bei B; der Druck bei A ist also größer als bei B und es muß mithin eine Strömung entstehen, die von A nach B gerichtet ist.

Man kann den Versuch auch gut mit *Salmiakrauch* anstellen. Man giebt nämlich an das eine Ende A einer beiderseits offenen Glasröhre eine Portion recht dichten Salmiakrauch; der tonerregende Glasstab, welcher für sich auf einem eigenen Gestelle befestigt ist, ragt nur wenig

1) Eine ausführliche Beschreibung des ganzen Vorganges ist in der Mittheilung „Ueber einige neue Staubfiguren“ enthalten.

- in das Ende *A* der Glasröhre hinein. Bei jedem Strich macht der gesammte Rauch einen ziemlich grossen Ruck gegen das andere Ende *B* der Glasröhre. Die Länge der Luftsäule muß so gewählt seyn, daß die Luftströmungen möglichst stark sind, sonst ist die Bewegung des Rauches nicht merklich.

Man sieht übrigens aus der hier auseinandergesetzten Theorie, daß auch in freier Luft von jedem schwingenden Körper Luftströmungen ausgehen müßten, die einen in die Nähe gebrachten Körper abstoßen. Doch sind in freier Luft die Luftschnüsse bei weitem nicht so stark, als wie in einem geschlossenen, resonnirenden Raume, und sie nehmen außerdem im quadratischen Verhältnisse mit der Entfernung ab. Die Luftströmungen müßten deshalb außerordentlich schwach seyn. Nebstdem könnten diese Luftströmungen wahrscheinlich nur zu Anfang (und zu Ende) der schwingenden Bewegung entstehen. Man denke sich nur eine Kugel, die Dilatations- und Contractions-schwingungen macht. Wenn auch der mittlere Druck in der Nähe der Kugel grösser ist als in grösserer Entfernung davon, so muß sich dieser Druck durch Wegströmen der Luft von der Kugel fast momentan ausgleichen. Denn bei einer Kugel ist nicht die geringste Veranlassung zur Entstehung eines zweiten, dem Wandstrome in Röhren analogen Luftstromes vorhanden, und nur die Entstehung eines zweiten, dem ersten entgegengerichteten Luftstromes kann dem ersten Luftstrome eine längere Fortdauer verleihen.

Es bleibt somit die akustische Anziehung eines in freier Luft befindlichen Körpers, der dichter ist als die Luft, und die Abstossung eines solchen, dessen Dichte von der Luft übertroffen wird, bis jetzt noch ganz unerklärt. Es ist auch schwer, darüber eine theoretische Ansicht aufzustellen, denn es sind jedenfalls die Verhältnisse in diesem Falle recht complicirt. So halte ich es z. B. für wahrscheinlich, daß bei jeder Verdichtung, welche an einem in der Schallwelle befindlichen festen Körper an-

Strich
Ruck
ge der
ungen
auches

etzten
genden
nen in
freier
rk, als
, und
se mit
eshalb
n diese
nd zu
denke
actions-
ruck in
Entfer-
strömen

Denn
ung zur
Röhren
stehung
stromes
her ver-

in freier
ie Luft,
von der
ärt. Es
eht auf
e in die-
B. für
elche an
rper an-

kommt, die Luft *seitwärts* ausweicht, was besonders an den Rändern des Körpers der Fall seyn dürfte.

Es ist übrigens auch *die Form* des Körpers nicht ohne Einfluß auf sein Verhalten. Ich habe schon in einer früheren Mittheilung¹⁾ das Verhalten eines kleinen rechteckigen Papierpendels in einer Kundt'schen Röhre beschrieben. Es reichte nämlich durch den Kork, der das Röhrenende verschloß, ein Draht in das Innere der Röhre. Auf diesem Drahte hing nun das Papierrechteck auf zwei feinen Fäden, so daß seine Ebene senkrecht war zur Längsaxe der Röhre. Das Papierrechteck wurde nun, wenn die Länge der Luftsäule ein Vielfaches von einer halben Wellenlänge ausmachte, in hinlänglicher Entfernung vom Knoten heftig von der Mitte des Bauches abgestoßen²⁾. Es verhielt sich in diesem Punkte ganz entgegengesetzt, wie die Kieselsäure. Als ich das Ganze später noch einmal untersuchte, kam ich zur Ueberzeugung, daß dieses Papierrechteck eine allzugroße Störung in den Schwingungsverhältnissen herbeiführen müsse, welcher Umstand das abweichende Verhalten des Papierrechteckes rechtfertigen würde.

Um diese Störung möglichst klein zu machen, nahm ich den Durchmesser der Kundt'schen Röhre möglichst groß (38 Mm.). Der tonerregende Glasstab war beinahe zwei Meter lang und er ragte mit dem an seinem Ende angebrachten Korken nur auf eine gewisse Strecke in die

1) „Ueber die Schwingungen des Wassers in Röhren“ (Sitzungsb. 1875).

2) Ist das Papierrechteck genug *nahe am Knoten*, so wird es von diesem abgestoßen. Wenn die Länge der Luftsäule nicht mehr gleich ist einem Vielfachen von einer halben Wellenlänge, wobei die Luftschnüngungen nicht mehr so stark sind, so verhält sich das Papierrechteck genau wie Kieselsäure, d. h. es wird auf der ganzen Ausdehnung von der Mitte des Bauches bis zum Knoten stets von dem Knoten abgestoßen. Ich wurde durch dieses eigenthümliche Verhalten des Papierpendels zu einer unrichtigen Bemerkung über die Entstehung der Fig. 5, Taf. II veranlaßt („Ueber Schwingungen des Wassers in Röhren“ — welcher Aufsatz nächstens in den Annalen mitgetheilt werden wird).

Glasröhre. Auch wurde er immer an eben diesem, mit dem Korke versehenen Ende gestrichen. Diese Einrichtung hat den Vortheil, daß man zugleich den Glasstab streichen und währenddess die Vorgänge in der Röhre beobachten kann.

Ich hängte nun zuerst eine kleine *Hollundermarkkugel* (Durchmesser = 3 Mm.) mit einem Coconfaden an den in das Innere der Röhre hineinragenden Draht. *Diese verhielt sich stets ganz normal*, d. h. so wie die Kiesel-säure. Man sah auch, wenn Kiesel-säure in die Röhre gegeben wurde, daß die Bewegung der Kiesel-säure durch die hineingebrachte Hollundermarkkugel fast keine merkliche Abänderung oder Störung erlitt.

Ich nahm nun ein *sehr kleines* an zwei Coconfäden aufgehängtes *Papierquadrat* von 3 Mm. Seite, dessen Ebene senkrecht stand zur Längsaxe der Röhre. Dasselbe wurde nun in hinlänglich grosser Entfernung vom Knoten wieder *heftig von der Mitte des Bauches abgestossen*. Auch sah man, trotzdem die Fläche des Quadrates sehr klein war, gegen den Querschnitt der Röhre, daß die Bewegung der Kiesel-säure in derjenigen Halbwelle, wo sich das Papierquadrat befand, total geändert wurde. Es bildeten sich nämlich zu beiden Seiten des Papierquadrates zwei ganz von Kiesel-säure freie Stellen von beträchtlicher Ausdehnung, während in den übrigen Halbwellen die Kiesel-säure sich ganz regelmässig in der Mitte des Bauches anhäuft.

Wird das Papierquadrat so aufgehängt, daß seine Fläche *parallel* ist zur Längsaxe der Röhre, so stellt es sich während des Tönens stets *senkrecht* zu derselben. Rechteckige Papierstücke, die auf den Boden der Röhre gelegt werden, stellen sich während des Tönens aufrecht; diesen letzteren Versuch kann man auch mit dem Resonanzkästchen einer Stimmgabel anstellen, wenn man die Papierstücke in das Innere des Kästchens bringt.

Zum Schlusse muß ich noch auf einen Umstand aufmerksam machen, der bei der Bestimmung des mittleren

Ueberdruckes in einer Kundt'schen Röhre einen störenden Einfluß ausübt. Wenn nämlich das Ende der Manometerröhre in die schwingende Luftsäule hineinragt, so schwingt die in der Manometerröhre enthaltene Luft mit. Es hat sich nun gezeigt, daß der Ueberdruck, den das Manometer angiebt, auch theilweise von der Länge der im Manometer enthaltenen Luftsäule abhängt. Dieser Einfluß ist jedoch für gewöhnlich ein sehr geringer, wenigstens nach den Beobachtungen, die ich bis jetzt darüber gemacht habe.

Man kann aber diesen Einfluß sehr beträchtlich machen. Ich schmolz nämlich das in die schwingende Luftsäule hineinragende Ende der Manometerröhre (Durchmesser = 3,5 Mm.) zu, und machte auf etwa 6 Mm. von diesem Ende seitwärts¹⁾ mit einer Stichflamme eine kleine Oeffnung von 1,5 Mm. Durchmesser. Ich brachte nun dieses Manometerende in eine gedeckte Kundt'sche Röhre, und zwar etwa in die Mitte zwischen einen Bauch und einen Knoten. Da das ganze Manometer aus einer fast geraden nur unmerklich gebogenen Glasmöhre bestand, so konnte durch verschiedene Neigung das kleine Wassersäulchen im Manometer an verschiedene Stellen der Röhre gebracht werden. Das Manometer zeigte je nach der Länge der Luftsäule bald eine Verdichtung, bald eine Verdünnung an. Das Ganze ist wahrscheinlich den beim Kundt'schen Schallmanometer²⁾ vorkommenden Erscheinungen analog. Ich konnte bis jetzt keine Erklärung dieser eigenthümlichen Erscheinung finden.

Wenn man also den mittleren Ueberdruck in einer Kundt'schen Röhre bestimmen wollte, so wäre es ange-

1) Es ist für das Gelingen des Versuches wesentlich, daß diese Oeffnung seitwärts ist, daß mithin die Luftschwingungen parallel sind zur Ebene dieser Oeffnung. Ist diese kleine Oeffnung vorne gerade am Ende der Röhre angebracht, so zeigt sich der Einfluß der im Manometer enthaltenen Luftsäule fast gar nicht.

2) Siehe die Mittheilung: „Ueber das Kundt'sche Manometer“ (Sitzungsberichte 1873. — Annal. Bd. 150, S. 410).

zeigt, die Manometerröhre so eng zu nehmen, daß die Luftschwingungen in derselben fast vollständig durch die Reibung aufgezehrt werden.

Ueber akustische Anziehung und Abstofung in Flüssigkeiten.

Die akustische Anziehung in Flüssigkeiten ist zuerst von Guyot beobachtet worden. Derselbe nahm eine mit Wasser gefüllte Glocke, in welche an einem Roßhaare eine Münze aufgehängt war; tönte die Glocke, so wurde die Münze angezogen, jedoch nur in den Bäuchen, nicht in den Knoten.

Bei der Wiederholung dieser Versuche machte ich zufällig einige Beobachtungen. Um das heftige Spritzen des Wassers in den Bäuchen zu verhüten, goß ich eine Schicht Oel auf das Wasser. Ich gab jedoch Anfangs nur soviel Oel auf die Wasseroberfläche, daß eine kreisförmige Oelscheibe entstand, deren Umfang von dem Rande der Glocke um 1 Ctm. entfernt war; diese Oelscheibe ist in dem oberen Theile der Fig. 10, Taf. II durch den punktierten Kreis angedeutet. Beim Streichen der Glocke, die einen sehr starken Ton gab, veränderte die kreisförmige Scheibe augenblicklich ihre Form, und nahm eine mehr quadratische Gestalt $\alpha\beta\gamma\delta$ an. Zugleich staute sich das Wasser an den Bäuchen *B* an, so daß dort die Flüssigkeitsoberfläche höher stand als an den Knoten *K*. Dieser Umstand bewirkte ein fortdauerndes Abfließen des Wassers von den Bäuchen zu den Knoten. Diese Strömungen sind auf der Figur durch die spiralförmigen Linien angedeutet.

Man kann, um das Spritzen des Wassers beim Tönen zu verhindern, auch Lycopodium auf die Wasseroberfläche streuen. Das Wasser zieht sich wiederum beim Tönen an den Bäuchen *B* beträchtlich in die Höhe. Ist ziemlich viel Lycopodium auf der Wasseroberfläche, so gleitet dasselbe an den schießen Ebenen, die an den Bäuchen entstehen, herab, und bildet eine beinahe quadratische Staubfigur, wie sie im unteren Theile der Fig. 10, Taf. II dargestellt ist.

Andere Beobachtungen über die akustische Anziehung und Abstossung in Flüssigkeiten habe ich in der Mittheilung „Ueber die Schwingungen des Wassers in Röhren“ (Sitzungsber. 1875) angeführt. Besonders ausführlich ist daselbst die von Cagniard Latour zuerst beobachtete Bewegung der Luftblasen in einer schwingenden Wassersäule untersucht. In einer Wassersäule, die stehende Schwingungen ausführt, bewegen sich kleine Luftbläschen stets zu den *Knoten*. Ein unter Wasser tönender Glasstab zieht ebenfalls auf eine nicht unbeträchtliche Entfernung kleine Luftblasen an. Ein Blechstreifen wird von dem eben abgeschnittenen Ende eines tönenden Glasstabes für kleine Distanzen angezogen, für gröfsere abgestossen.

Ich untersuchte nun vor Kurzem abermals die Einwirkung eines unter Wasser tönenden Glasstabes. Um seiner schwingenden Endfläche eine gröfsere Ausdehnung zu geben, befestigte ich eine runde Glasscheibe *ss* (Fig. 11) an das Ende des Stabes. Sie hatte einen Durchmesser von 26 Mm. bei einer Dicke von 2 Mm., während der Glasstab, welcher in zwei Knoten befestigt wurde, eine Länge von 135 Ctm. und einen Durchmesser von 11 Mm. besaß. Statt des Blechstreifens nahm ich eine kleine schwarze Glasperle (Durchmesser = 2,5 Mm.), die auf einem Glasfaden angebracht war. Es zeigte sich nun, dass die Mitte der Scheibe *ss*, sich ganz anders verhielt, als die näher an der Peripherie gelegenen Theile derselben. Stand die Glasperle genau der Mitte der Scheibe gegenüber, so wurde sie für alle Distanzen abgestossen. War aber die Glasperle näher an der Peripherie der Scheibe, so wurde sie angezogen. Die Pfeile in der Figur geben beiläufig die Richtung der Anziehung und Abstossung an.

Es stellt sich nun heraus, dass von der Mitte der Scheibe eine continuirliche Strömung ausgeht, welche die Abstossung der Perle verursacht. Gab man nämlich die Glasperle in eine etwas gröfsere Entfernung von der Scheibe, der Mitte der Scheibe gerade gegenüber, so wurde sie erst in einer merklichen Zeit nach dem Aufhören des

Tones abgestoßen, wenn der Ton kurz und stark erregt wurde. Ich stellte überdies, um die Existenz des Stromes nachzuweisen, ein rechtwinklig gebogenes Glasrörchen *ab* (Fig. 11, Taf. II) nahe vor die Mitte der Scheibe, so dass die Ebene der Oeffnung bei dem Röhrenende *a* zu der Scheibenebene parallel war. Das andere Ende *b* des Röhrchens ragte über den Wasserspiegel *NN'*. Bei jedem Strich stieg das Wasser in diesem Ende um etwa 2 Ctm. Stellte man aber das Rörchen so, dass die Oeffnungsebene des Endes *a* gerade senkrecht stand auf der Scheibenfläche, so stieg das Wasser auch bei sehr kräftigen Tönen des Glasstabes gar nicht in dem anderen Röhrchenende *b*. Dieses ist nur erklärlich, wenn man eine von der Mitte der Scheibe ausgehende Strömung annimmt. Stellt man das Röhrchenende *a* etwas näher gegen die Peripherie der Scheibe, so steigt das Wasser auch dann nicht in dem anderen Ende *b*, wenn die Oeffnungsebene des Röhrchenendes *a* parallel ist zur Scheibenfläche.

Außerdem ist es mir gelungen, *eine elektrische Stimmgabel unter Wasser zum Tönen zu bringen*. Ich setzte anfangs die Gabel unter Brennspiritus, woselbst sie auch ganz gut tönte; als ich mich jedoch überzeugte, dass man die Unterbrechungsflüssigkeit im Quecksilbernäpfchen ohne Nachtheil durch Wasser ersetzen kann, so versenkte ich die ganze Stimmgabel unter Wasser. Mit drei Grove'schen Elementen gelingt es ohne sonderliche Anstrengung, die Gabel zum Tönen zu bringen. Da die Zinken eine zu complicirte Form hatten, so untersuchte ich die Sache nicht näher. Vorläufig zeigte sich, dass ein Blechquadrat auf eine kleine Distanz von den Zinken angezogen wurde. Außen sah man eine constante Strömung in der Nähe der Zinkenenden. Die Strömung war theilweise vertical abwärts gerichtet, und es wurden daselbst kleine Luftblasen nach unten angezogen. An einer anderen Stelle sah man, dass kleine im hellen Lichte glänzende Luftblasen im Aufsteigen zu einer wellenförmigen Curve angezogen wurden.

Auf das Entstehen einer Strömung scheint auch fol-

erregt
stromes
hen ab
o daß
zu der
Röhr-
Strich
Stellte
ne des
afläche,
en des
ende b.
Mitte
lt man
ipherie
icht in
s Röhre

Stimm-
setzte
ie auch
als man
en ohne
ckte ich
e'schen
ng, die
eine zu
e Sache
quadrat
wurde.
ähne der
ical ab-
ftblasen
ah man,
im Auf-
wurden.
uch fol-

gender Versuch, den ich früher einmal¹⁾ angestellt habe, hinzudeuten. Bedeckt man eine horizontale Glasplatte in einem Gefäße etwa 3 Ctm. hoch mit Wasser, welches gelöstes Schießpulver enthält, so setzt sich nach einiger Zeit die Kohle des Schießpulvers auf die Glasplatte ab. Man befestigt nun auf der Zinke einer Stimmgabel ein Zündhölzchen, dessen Längsrichtung mit der Schwingungsrichtung der Gabel zusammenfällt. Taucht man das Zündhölzchen, nachdem man die Gabel kräftig angeschlagen hat, so weit in das Wasser, daß das Ende des Zündhölzchen einige Millimeter von der Glasplatte absteht, so wird die an der Glasplatte gelagerte Kohle augenblicklich in einem Kreise um das Zündhölzchen weggefegt.

Die Versuche wurden im physik. Institute der Prager Universität ausgeführt.

III. *Ueber flüssige Lamellen; von Dr. Sondhaufs in Neifse.*

Die Eigenschaft der Flüssigkeiten, Schaum zu erzeugen, Blasen zu bilden, sich in dünne Häutchen auszuspannen, dient nicht blos zur Decoration beliebter Getränke, verleiht nicht bloß den Landschaften den poetischen Schmuck des schäumenden Wasserfalls oder der schaumspritzenden Meeresbrandung, gewährt nicht blos den Knaben das harmlose Spiel mit dem vergänglichen, farbenglänzenden Seifenblasen, sondern giebt auch den Physikern Mittel an die Hand, aus der Schaumbildung auf die Natur der Flüssigkeiten zu schließen und durch Beobachtung und Messung von Blasen die zwischen den kleinsten Flüssigkeitstheilchen wirksamen Kräfte, die sogenannten Molecular-Kräfte zu

1) „Ueber Schwingungen des Wassers in Röhren“.

studiren. Vor allem hat J. Plateau, seit er zu Anfang der vierziger Jahre den glücklichen Gedanken hatte¹), an einer Oelmasse, welche er in einem Gemisch von Alkohol und Wasser von gleichem specificischen Gewichte schweben ließ, die Wirksamkeit der nach Aufhebung der sonst übermächtigen Schwerkraft frei zur Geltung kommenden Anziehung zwischen den kleinsten Flüssigkeitstheilchen nach allen Richtungen zu studiren und zu veranschaulichen, diesen Gegenstand mit einer bewundernswürdigen Ausdauer verfolgt und auch nach dem Verluste des Augenlichts seine interessanten und lehrreichen Versuche bis in die neueste Zeit unermüdet fortgesetzt²).

Da das von ihm ursprünglich angewendete Verfahren wegen der Schwierigkeit, die Oelmassen in der alkoholischen Flüssigkeit im Gleichgewicht schwebend zu erhalten und in die gewünschten Formen zu bringen, sehr umständlich und zeitraubend ist, so wendete er in seiner Versuchsreihe³) zur Darstellung seiner „Gleichgewichtsfiguren einer flüssigen Masse ohne Schwere“ Blasen aus einer mit Glycerin versetzten Seifenlösung an, welche so zäh und dauerhaft sind, dass man mit ihnen bequem und sicher experimentiren kann. Wegen ihrer dünnen Wandung sind diese Blasen so leicht, dass man von ihrem Gewicht im Vergleich zu den hier wirksamen Molecular-Kräften im Allgemeinen absehen darf, und in diesem Sinne hat J. Plateau Recht, wenn er diese Blasen und flüssigen La-

- 1) Ueber die Erscheinungen einer freien und der Wirkung der Schwere entzogenen flüssigen Masse; von J. Plateau, Prof. der Physik in Gent. Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie, Ergänzungsbd. II, S. 249. 1849. Die erste Veröffentlichung erfolgte am 15. Januar 1842, wo der Verfasser die Abhandlung in der Brüsseler Akademie las.
- 2) Seine letzte Abhandlung: „Experimentelle und theoretische Untersuchung über die Gleichgewichts-Figuren einer flüssigen Masse ohne Schwere“; 8. Reihe, befindet sich in diesen Annalen Bd. 141, S. 44. 1870.
- 3) Diese Ann. Bd. 114, S. 597. 1861.

Anfang
'e'), an
Alkohol
hweben
t über-
en An-
n nach
alichen,
usdauer
enlichts
in die

erfahren
alkoho-
erhalten
mständ-
versuchs-
en einer
mit Gly-
dauer-
er expe-
ng sind
richt im
stien im
hat J.
gen La-

er Schwere
Physik in
ie, Ergän-
erfolgte am
r Brüsseler

che Unter-
Masse ohne
Bd. 141,

mellen und die daraus gebildeten Gestalten flüssige Massen ohne Schwere nennt.

Die Beschäftigung mit den aus seiner Glycerin-Flüssigkeit hergestellten Blasen veranlaßte J. Plateau, die Bildung von Schaum und Blasen bei verschiedenen anderen Flüssigkeiten zu untersuchen und die günstigen Bedingungen für die Blasenbildung überhaupt zu ermitteln. Er gewann hierbei die Ansicht, daß die Cohäsion und die Zähigkeit (Viscosität), welche nach ihm die Darstellung flüssiger Lamellen bedingen, das Phänomen der Blasenbildung nicht genügend erklären, daß vielmehr die Ursache desselben in den geheimnisvollsten Eigenschaften der Flüssigkeiten zu liegen scheint¹⁾). Das Resultat seiner weiteren Untersuchung ist: daß die Blasenbildung von einem zweckmäßigen Verhältnisse der oberflächlichen Zähigkeit der Flüssigkeiten zu der Spannung ihrer Oberfläche abhängt.

J. Plateau findet, daß die Flüssigkeiten in Beziehung auf ihr Verhalten zur Blasenbildung in drei Abtheilungen welche er Kategorien nennt, zu sondern sind und setzt diese Eintheilung in folgender Weise auseinander²⁾:

Die allgemeinen Kennzeichen der ersten Kategorie sind: Wenig oder gar kein Schaum beim Umschütteln; Unmöglichkeit der Blasenbildung; kurze Dauer der Lamellen; Abwesenheit der Farben auf den Kuppen oder langsame Färbung, blos das Roth und das Grün der letzten Ordnungen darbietend. Von den vielen Flüssigkeiten, die zu dieser Kategorie gehören, will ich nur anführen: Wasser, Glycerin, Schwefel- und Salpetersäure, Ammoniak, gesättigte Lösungen von Weinsäure, salpetersaurem Kali, kohlensaurem Natron und Chlorcalcium.

„Die Flüssigkeiten der zweiten Kategorie unterscheiden sich von den vorhergehenden durch eine rasche und ausgeprägte Färbung, welche Farben aller Ordnungen zeigt.

1) Diese Ann. Bd. 141, S. 45.

2) Diese Ann. Bd. 141, S. 46.

Solche Flüssigkeiten sind: Fette Oele, Milchsäure, kry-
stallisirbare Essigsäure, Terpentinöl, Alkohol, Benzin, hol-
ländische Flüssigkeit, Chloroform, Schwefeläther, Schwefel-
kohlenstoff.

„Die zur dritten Kategorie gehörenden Flüssigkeiten bekleiden sich beim Umschütteln mit einem voluminösen und lange verweilenden Schaum; sie lassen sich aus der Mündung einer Pfeife leicht zu Blasen aufstreiben; ihre Kuppen halten sich viel länger als die der Flüssigkeiten der beiden ersten Kategorien, gewöhnlich mehrere Stunden, zuweilen selbst mehrere Tage. Im Allgemeinen haben sie anfangs eine sehr beträchtliche farblose Phase, deren Dauer von einer Flüssigkeit zur andern sehr verschieden ist; dann färben sie sich allmählich, aber nach der Natur der Flüssigkeiten auf etwas verschiedene Weise. Diese Kategorie ist wenig zahlreich; wenn man absieht von einigen Substanzen, die nur in der Hitze flüssig sind, wie das Glas, so reducirt sie sich wesentlich, glaube ich, auf die Lösungen der verschiedenen Seifen, auf die Lösung des Saponin's und die des Albumin's, wozu man noch die Lösung des essigsauren Eisenoxyds hinzufügen kann.“

Ich habe mich ebenfalls schon seit längerer Zeit mit Versuchen zur Vergleichung verschiedener Flüssigkeiten in Beziehung auf Bildung von flüssigen Lamellen und Blasen beschäftigt und mich dabei überzeugt, dass die von J. Plateau gemachte Eintheilung von Flüssigkeiten jedenfalls begründet ist, wenn auch seine Angaben in einzelnen Punkten vielleicht etwas zu modifizieren seyn dürften. Vielleicht möchte es auch zweckmäßig seyn, die von ihm aufgestellte zweite Gruppe in zwei zu trennen, von welchen die eine die fetten Oele und ähnliche Flüssigkeiten, die andere die leicht flüssigen und rasch verdampfenden Substanzen wie Schwefeläther, Benzin, Alkohol und die flüchtigen Oele enthalten müfste.

Meine Versuche waren zunächst 1) auf die Ermittlung gerichtet, ob die verschiedenen Flüssigkeiten geeignet seyen, sich innerhalb Drahtringen zu Lamellen auszuspan-

nen, und welche Größe dieselben erreichen. Dann beobachtete ich 2) solche Lamellen in abgeschlossenen Räumen, d. h. unter Glasglocken und in Flaschen, um bei Ausschluß der äußersten Störungen ihre Dauer und die an ihnen bemerkbaren Veränderungen kennen zu lernen. Ich bestimmte ferner 3) mit der Waage die Spannung der aus verschiedenen Flüssigkeiten dargestellten Lamellen, 4) mit einem Manometer den Druck, welchen die aus geeigneten Flüssigkeiten gebildeten Blasen auf die eingeschlossene Luft ausüben und 5) das Gewicht solcher flüssigen Lamellen und Blasen, von wo aus ein Schluss auf die Dicke derselben gestattet seyn dürfte. Wenn ich auch die weitführende zeitraubende Untersuchung noch nicht als abgeschlossen ansehen kann, so dürfte es doch an der Zeit seyn, wenigstens einen Theil meiner Versuche zu veröffentlichen, und ich hoffe, daß die nachfolgende Mittheilung einen kleinen Beitrag zur näheren Kenntniß der Cohäsionsverhältnisse der Flüssigkeiten liefern wird.

Die den tropfbaren Flüssigkeiten von Natur zukommende Gestalt ist keine andere als die sphärische; wenn die Flüssigkeiten andere Formen annehmen, so werden sie von äußern Kräften in dieselben hineingezwungen. Eine innerhalb eines Drahtringes ausgespannte flüssige Lamelle ist ein in die Breite ausgedehnter Tropfen, welcher fortwährend das Bestreben hat, sich von dem Ringe, an welchen ihn die Adhäsion fesselt, zu lösen um sich wieder in seine ursprüngliche Kugelgestalt zusammen zu ziehen. Wenn der metallene Ring z. B. durch einen kräftigen galvanischen Strom heiß oder glühend gemacht würde, so müßte die flüssige Lamelle nach Aufhebung der zwischen ihr und dem Ringe wirksamen Adhäsion sich plötzlich in einen Tropfen zusammen ziehen. Diese Umformung würde bei den meisten Flüssigkeiten so rasch vor sich gehen, daß man sie kaum mit den Augen verfolgen könnte, bei einzelnen jedoch wie z. B. bei der Lösung von Saponin in Wasser würde wegen der verminderten Beweglichkeit der Theilchen die Verwandlung der abwärts fallenden La-

melle in einen Tropfen wahrscheinlich beobachtet werden können. Da die Adhäsion jedoch überwiegend ausdauert, so zerreist die Lamelle nach der Natur der Flüssigkeit in kürzerer oder längerer Zeit plötzlich, meistentheils ohne daß man die Ursache der Störung des Gleichgewichts erkennen kann, und zerspringt gewöhnlich in unzählige kleine Tröpfchen, die nach allen Seiten umherfliegen.

Man kann einen Tropfen z. B. einen Wassertropfen in der That in die Breite ausziehen, wenn man ihn mit einem zu einer Schleife geformten dünnen elastischen Metalldrahte wie mit einem Reifen umgibt und die Schleife durch Zurückstoßen der freien Drahtenden vorsichtig erweitert. Bequemer läßt sich dieser Versuch in folgender Weise anstellen. Man biegt einen etwa 1 bis 2^{mm} dicken Eisen- oder Platindraht zu einem Winkel von 60° und befestigt denselben an einem geeigneten Gestell oder einfach an einem Brettchen, so daß die beiden Schenkel sich in einer horizontalen Ebene befinden. Ein geradlinig gestrecktes Drahtstück von derselben Dicke und geeigneter Länge legt man quer über die Schenkel des Winkels und begrenzt dadurch ein gleichseitiges Dreieck, welches durch Verschieben des beweglichen Drahtstücks verkleinert und vergrößert wird. Hängt man nun einen Tropfen in den festen Scheitel des veränderlichen Dreiecks, so kann man durch vorsichtiges Zurückziehen des beweglichen Drahtes den adhäsirenden Tropfen zu einer das Dreieck ausfüllenden Membrane ausspannen und dieselbe ausdehnen bis sie platzt. Wenn der bewegliche Draht nicht zu schwer ist, so bemerkt man auch sehr bald, daß derselbe von der ausgespannten Lamelle nach dem festen Scheitel des Dreiecks zurückgezogen wird, und gewinnt dadurch einen eben so einfachen als augenscheinlichen Nachweis für die in der Lamelle vorhandene Spannung.

Mit diesem einfachen Apparate kann man nicht bloß nachweisen, daß alle Flüssigkeiten sich in Lamellen ausspannen lassen, sondern auch die einzelnen Flüssigkeiten in Beziehung auf die Lamellen-Bildung mit einander ver-

gleichen und daher auch nach der Gröfse der Lamellen manche Flüssigkeiten von einander unterscheiden oder ihre Qualität beurtheilen. Um einige Beispiele anzuführen bemerke ich, daß destillirtes Wasser sich in ein Lamellen-Dreieck von 3 bis 3,5^{cm} Seite ausspannen läßt, und daß die Seite dieses Dreiecks bei englischer Schwefelsäure 2,5 Ctm., bei Leinöl 5 Ctm., bei Alkohol 0,6 Ctm. lang ist, wenn die Lamelle platzt.

Wenn man zu der Construction des Apparates amalgamirten oder plattirten Kupferdraht anwendet, an welchem das Quecksilber adhärt, so kann man mit demselben auch aus Quecksilber kleine Lamellen darstellen. Ich habe feinen plattirten Kupferdraht von der Dicke eines Pferdehaars angewendet und damit Quecksilber-Lamellen innerhalb des von den Drähten begränzten Dreiecks von 0,8^{cm} Seite erhalten.

Ein Mangel dieses Apparats liegt darin, daß die Drähte, zwischen welchen die Lamellen ausgespannt sind, nicht in einer Ebene liegen. Da überdies die kreisförmigen Drahtringe mir für die gleichmäßige Entwickelung der Lamellen geeigneter zu seyn schienen als die winkliche Form des Dreiecks, so habe ich den kreisförmigen Drahtringen bei meinen Versuchen den Vorzug gegeben und mir eine gröfsere Anzahl solcher Ringe von verschiedener Gröfse verschafft. Dieselben sind ähnlich wie die von Plateau angewendeten eingerichtet und mit einem gabelförmigen Griff versehen, an welchem man sie hält, wenn man sie in die zu untersuchende Flüssigkeit eintauchen will. Zehn kleinere Ringe, deren Durchmesser von 1 Ctm. bis 6 Ctm. stufenweise zunimmt, sind ebenso wie der zu dem gabelförmigen Drahtgriff gehörige Bügel aus dünnem Platindraht gefertigt, aber nicht gelöthet, sondern an den Verbindungsstellen zusammengeschweißt, damit sie überall den Säuren gleichmässig widerstehen möchten und auch durch Ausglühen gereinigt werden könnten. Die gröfseren Ringe bis zum Durchmesser von 25 Ctm. wurden aus Eisendraht hergestellt.

Taucht man einen solchen an seinem Stiele gehaltenen Ring in die in eine flache Schale gegossene zu prüfende Flüssigkeit und hebt ihn, nachdem er benetzt worden ist, wieder in die Höhe, so erhebt sich an der Peripherie des Ringes adhärirend ans der Flüssigkeit eine dünne Haut, welche zwischen dem horizontal gehaltenen Ringe und der Oberfläche der Flüssigkeit ausgespannt ist und eine Rotationsfläche bildet. Je mehr man den Ring hebt, zieht sich diese Rotationsfläche bei der Vergrößerung ihrer Höhe der Breite nach zusammen und trennt sich zuletzt in zwei Theile, von welchen der untere an der Oberfläche der Flüssigkeit haften bleibt und eine auf derselben schwimmende Blase bildet, der obere rasch nach oben schnellt, einige Mal wie ein Paukenfell auf und ab oscillirt und sich dann zu einer anscheinend ebenen Lamelle ausspannt. Die Umwandlung der sich zusammenziehenden und trennenden Rotationsfläche geht in dem entscheidenden Augenblicke auch bei weniger leicht beweglichen Flüssigkeiten wie Saponinlösung so schnell vor sich, daß man kaum im Stande ist, sie mit den Augen zu verfolgen. Bei dieser raschen Bewegung entsteht oft auch ein lauter, deutlich wahrnehmbarer Ton. Wenn, wie es oft bei weniger geeigneten Flüssigkeiten und bei Anwendung von zu großen Ringen vorkommt, der Versuch misslingt, so röhrt dies entweder daher, daß die von dem Ringe mit in die Höhe gezogene flüssige Haut zerreißt, ehe sie sich zusammengezogen und in den obern und untern Theil getrennt hat, oder ist die Folge von den zu heftigen Schwingungen des obren Theils, durch welche die schon fertige Lamelle zerstört wird. Der vorhin erwähnte Ton und die auf der Flüssigkeit schwimmende Blase sind in diesem Falle die Zeichen, daß der Versuch beinahe gelungen wäre, und ermuthigen zur Wiederholung desselben. Der glückliche Erfolg des Versuches hängt zum Theil von der Geschicklichkeit ab, mit welcher man den Ring aus der Flüssigkeit heraushebt, und es versteht sich wohl von selbst, daß dazu eine ruhige und sichere Hand und außerdem einige

Uebung und viel Geduld die wesentlichen Bedingungen sind.

Große Lamellen gelingen nur mit den besonders geeigneten Flüssigkeiten, welche Plateau in der dritten Kategorie charakterisiert hat. Die Flüssigkeiten der beiden anderen Kategorien bilden nur innerhalb kleinerer Ringe von 1 bis 6 Cm. Durchmesser Lamellen, die überdies oft nur von sehr kurzer Dauer sind. Es ist mir jedoch bis jetzt noch keine Flüssigkeit vorgekommen, welche sich als völlig ungeeignet zur Bildung von flüssigen Lamellen erwiesen hätte.

Hat man den zur Vergleichung der Lamellenbildung erforderlichen Satz von Drahtringen zurecht gestellt, so ist das Verfahren bei den Versuchen sehr einfach. Man hat nur successive die der Größte nach auf einanderfolgende Ringe in die zu untersuchende Flüssigkeit einzutauchen und zu ermitteln, welches der größte Ring ist, mit welchem die Darstellung einer Lamelle noch gelingt. Diese Ermittelung ist jedoch nicht immer gleich entschieden, indem nicht selten, nachdem das Resultat schon als festgestellt erschien, sich Unregelmäßigkeiten in dem Verhalten der Flüssigkeit zeigen, die den Versuch in die Länge ziehen. Die Drahtringe, eben so wie die flachen Schalen, in welche die zu prüfenden Flüssigkeiten gegossen werden, müssen vor jedem neuen Versuche sorgfältig gereinigt werden. Daher erfordern diese Versuche, so einfach sie auch sind, doch einen erheblichen Zeitaufwand, ich habe mich deshalb auf die Untersuchung folgender Flüssigkeiten beschränken müssen:

1. *Wasser.* Mit kleinen Ringen von 1 bis 3 Cm. Durchmesser bildet Wasser leicht und sicher durchaus eben erscheinende Lamellen, welche wenn man den Ring horizontal hält, von ziemlich langer Dauer sind. Mit einem Ringe von 4 Cm. Durchmesser gelingt der Versuch ebenfalls nicht selten. Hält man den Ring schief, so verdickt sich die Lamelle an der tiefsten Stelle zu einem wulstförmigen Tropfen und zerspringt bei Anwendung von

den grösseren Ringen in der Regel in kurzer Zeit; bei kleineren Ringen hält sie sich länger und zeigt in ihrem oberen Theile horizontale parallele Farbenstreifen, in welchen Roth und Grün überwiegt. Mit destillirtem Wasser gelingt der Versuch weniger gut als mit Flufs- und Brunnenwasser. Die Erhöhung der Temperatur bis in die Nähe des Siedepunktes scheint die Lamellenbildung nicht zu beeinträchtigen, sondern eher zu begünstigen.

2. *Zuckerwasser* verhält sich fast eben so wie reines Wasser. Ich habe verschiedene Lösungen von Zucker in Wasser von $\frac{1}{2}$ bis $\frac{5}{6}$ Zucker in 1 Wasser geprüft und keine erhebliche Aenderung in der Lamellenbildung bemerkt. Nachdem die stärkste Zuckerlösung zweimal bis zum Sieden erhitzt worden war und einige Tage gestanden hatte, gab sie mit einem etwas grösseren Ringe von 4,7 Cm. Durchmesser eine Lamelle. Ein kleiner Zusatz von Alkohol, etwa $\frac{1}{4}$ des Volumens, bewirkte, dass sie viel weniger zur Lamellenbildung geeignet wurde, denn jetzt gelang nur mit den kleinsten Ringen von 1 Cm. bis höchstens 1,7 Cm. Durchmesser die Darstellung von Lamellen.

3. *Glycerin* zeigte sich zur Lamellenbildung wenig geeignet, denn nur mit kleinen Ringen von 1 bis 1,7 Cm. Durchmesser war es möglich, Glycerin-Lamellen zu erhalten, und waren dieselben auch nur von kurzer Dauer. Glycerin mit 2 Vol. Wasser verdünnt lieferte Lamellen bis zu 2,7 Cm. Durchmesser.

4. *Schwefelsäure*, chemisch rein, spec. Gewicht 1,84, war zur Lamellenbildung nur so weit geeignet, dass der Versuch mit kleinen Ringen bis zu 1,7 Cm. Durchmesser gelang, während englische Schwefelsäure Lamellen bis zu 4 Cm. Durchmesser liefert.

5. *Salpetersäure*, chemisch rein, spec. Gewicht 1,18 zeigte dasselbe Verhalten wie die gewöhnliche rohe Salpetersäure, indem mit Beiden in Ringen von 3,2 Cm. Durchmesser Lamellen erhalten wurden.

6. *Salzsäure*, chemisch rein, spec. Gewicht 1,124 bildet ebenfalls Lamellen bis zu 3,2 Cm. Durchmesser.

7. *Phosphorsäure*, spec. Gewicht 1,120 verhielt sich ebenso.

8. *Liquor Ammonii caust*, spec. Gewicht 0,960 eignet sich zur Lamellenbildung in Ringen von bis zu 2,7 Cm. Durchmesser.

9. *Concentrirtre Natron-Lösung*. Anfänglich gelang die Darstellung der Lamellen mit einem Ringe von 4,7 Cm. Durchmesser, später bloß mit kleineren Ringen bis zu 2,7 Cm. Durchmesser.

10. *Lösung von Aetz-Kali*, 1 Th. Kali in 3 Th. Wasser. Anfänglich gelang der Versuch mit einem Ringe von 4,7 Cm. Durchmesser gut, später nur mit kleineren Ringen.

11. *Lösung von Natron carbonicum*, 1 Th. + 4 Th. bildet Lamellen bis zu 4,7 Cm. Durchmesser. Ebenso verhält sich eine Lösung von doppelt kohlensaurem Natron.

12. *Lösung von kohlensaurem Kali*, 1 Tb. zu 2 Th. bildet Lamellen von 3,2 Cm. Durchmesser.

13. *Lösung von salpetersaurem Kali*, 1 Th. in 10 Th. bildet Lamellen bis zu 4 Cm Durchmesser.

14. *Lösung von salpetersaurem Natron* verhält sich ebenso.

15. *Lösungen von essigsaurem Ammoniak* und *essigsaurem Kali* lieferten Lamellen bis zu 2,7 Cm. Durchmesser.

16. *Lösung von basisch essigsaurem Bleioxyd*. Es gelingen Lamellen bis zu 4 Cm. Durchmesser.

17. *Lösung von essigsaurem Eisenoxyd*. Diese Flüssigkeit ist, wie schon Plateau bemerkt hat, ausgezeichnet durch ihre Eigenschaft, Schaum und Blasen zu bilden. Sie bildet sehr grosse Lamellen bis zu einem Durchmesser von 15 Cm., welche in der freien Luft etwa 10 Secunden ausdauern. Man muß die grösseren Drahtringe anfänglich sehr langsam aus der Flüssigkeit in die Höhe heben und dann wenn man sieht, daß die an dem Drahte hängende Lamelle aushält, dieselbe mit Rübe, aber nicht zu langsam von der Oberfläche der Flüssigkeit abziehen. Die

Lösung darf nicht zu concentrirt seyn. Die von mir angewendete hatte das specifische Gewicht 1,051.

18. *Lösung von unterchlorsaurem Kali (Eau de Javelle)* bildet Lamellen bis zu 4 Cm. Durchmesser.

19. *Lösung von Clorcalcium*, 1 Th. in 2 Th. Wasser. Anfänglich gelang der Versuch mit einem Ringe von 4 Cm. Durchmesser, später nur bis zu 2,7 Cm. Durchmesser.

20. *Lösung von schwefelsaurer Magnesia*. Es bilden sich Lamellen von 2,7 Cm. Durchmesser.

21. *Basisch kieselsaures Kali, Kali-Wasserglas*. Man kann damit Lamellen in Ringen bis zu 6,8 Cm. Durchmesser darstellen, welche aushalten und erstarren.

22. *Natron - Wasserglas*. Mit demselben gelangen Lamellen bis zu 4,7 Cm. Durchmesser, welche aber zersprangen, bezor sie erstarten. Ein kleineres Häutchen von 3,2 Cm. Durchmesser hielt aus und wurde fest.

Die rasch verdampfenden Flüssigkeiten, welche Plateau bei seiner Unterscheidung in der zweiten Gruppe charakterisirt hat, sind zur Darstellung von Lamellen wenig geeignet. Es gelang mir jedoch bei allen untersuchten derartigen Flüssigkeiten mit kleinen Drahtringen Lamellen zu erhalten, welche wegen der Dünnglüssigkeit ein beständiges Zittern und rasche Farbenentwicklung zeigten und in der Regel nach der kurzen Dauer von wenigen Sekunden platzten. Wenn man geeignete Substanzen, besonders Harze in diesen Flüssigkeiten auflöst, so erhält man mit ihnen grössere Lamellen von etwas längerer Dauer. Die folgenden Versuche geben über das Verfahren solcher Flüssigkeiten nähere Auskunft.

23. *Absoluter Alkohol* bildete bei Anwendung von 1 bis 1,7 Cm. Durchmesser leicht und sicher Lamellen; mit einem Ring von 1,7 Cm. Durchmesser gelang der Versuch ab und zu. Mit Alkohol von 87 Proc. nach Tralles, spec. Gewicht 0,830 war die Lamellenbildung in diesem Ringe von 1,7 Cm. Durchmesser noch etwas sicherer, und mit Spiritus von 68 Proc. nach Tralles, spec. Gewicht

0,892 gelang der Versuch noch ziemlich gut bei Anwendung eines Ringes von 2 Cm. Durchmesser. Campher-Spiritus und flüssiges Opopordok zeigten sich zur Lamellenbildung mit demselben Ringe geeignet. Bei allen diesen Versuchen war die zitternde Bewegung und die rasche Farbenentwickelung bemerkbar.

24. *Schwefeläther* spec. Gewicht 0,728 verhielt sich ungefähr ebenso wie Alkohol, indem die Lamellen mit Ringen bis zu 1,4 Cm. Durchmesser sicher und mit dem Ringe von 1,7 Cm. Durchmesser noch ziemlich gut gelangen. Auch das erwähnte Zittern und die Farbenbildung zeigte sich.

25. *Collodium* zeigte sich mit Ringen von bis zu 4,7 Cm. Durchmesser zur Lamellenbildung geeignet. Die Lamellen zerspringen in der Regel bevor sie in Folge der Verdunstung zu festen Häutchen werden. Eine Lamelle von 3,2 Cm. Durchmesser hielt aus und wurde fest; das gebildete Häutchen wurde jedoch beim Trocknen faltig und zerriss.

26. *Krystallisirbare Essigsäure, Acidum aceticum glaciale*, verhielt sich ähnlich wie Alkohol und Schwefeläther; die größte dargestellte Lamelle hatte 1,7 Cm. Durchmesser und zeigte dasselbe bewegliche Zittern die rasche Farbenbildung.

27. *Carbolsäure* zeigte ebenfalls dasselbe Verhalten. Reine krystallisierte Carbolsäure erzeugte mit einem Ringe von 2 Cm. Durchmesser nur schwierig noch Lamellen; mit den kleineren Ringen gelangen die Lamellen besser, waren aber auch nur von kurzer Dauer. Rohe Carbolsäure zeigte sich zur Lamellenbildung geeigneter, indem mit dem Ringe von 3,2 Cm. Durchmesser noch ein sicherer Erfolg zu erzielen war. Mit dem nächst größeren Ringe von 4 Cm. Durchmesser gelang der Versuch ab und zu. Die Lamellen zeigten ebenfalls das erwähnte Zittern und die rasche Farbenbildung.

28. *Benzin* bilden nur mit den kleinsten Ringen von

1 bis 1,4 Cm. Durchmesser Lamellen, welche die zitternde Bewegung in auffallender Weise zeigen.

29. *Petroleum*, sowohl rectificirtes als rohes, bildet Lamellen von einem Durchmesser bis zu 2 Cm.; auch mit einem Ringe von 2,7 Cm. Durchmesser gelang der Versuch ausnahmsweise. Das rohe Petroleum schien für die Lamellenbildung etwas geeigneter zu seyn. Zittern und Farbenbildung.

30. *Terpentinöl*: Lamellenbildung mit Ringen bis zu 1,7 Cm. Durchmesser sicher, bei 2 Cm. Durchmesser schwierig. Dieselbe zitternde Bewegung, und Farbenbildung.

31. *Petroleum*, in welchem Colophonium aufgelöst worden war, bildete Lamellen bis zu 3,2 Cm. Durchmesser. Die an dem gehobenen Ringe hängende flüssige Membran zog sich immer regelmässig in die Höhe, zersprang aber meistentheils beim Emporschneiden, so daß die Lamelle in dem Ringe von 3,2 Cm. Durchmesser nur ab und zu glückte, dann aber lange genug hielt, um die beweglichen, wie Flammen hin- und herzuckenden Farbenbilder beobachten zu lassen. Mit dem Ringe von 2,7 Cm. Durchmesser gelang der Versuch schon sicherer und mit dem Ringe von 2 Cm. Durchmesser fast immer und hielt die bewegliche und Farben blitzende Lamelle oft so lange aus, daß die den Ring am Stiele haltende Hand müde wurde.

Die fetten Oele zeigen im Vergleich zu den flüssigen ein sehr verschiedenes Verhalten; die Lamellen, welche sie in den eingetauchten und geschickt gehobenen Drahtringen bilden, sind viel grösser und haben auch in der Regel eine längere Dauer. Ich habe mit fetten Oelen die folgenden Versuche angestellt:

32. *Sesamöl* bildete mit Ringen von bis zu 4,7 Cm. Durchmesser leicht und lange aushaltende Lamellen, welche Farben zeigten. Auch mit einem Ringe von 6 Cm. Durchmesser gelang der Versuch.

33. *Mohnöl* und *Olicenöl* verhalten sich ebenso.

34. *Ricinusöl* bildete mit dem Ringe von 4,7 Cm. Durchmesser gut und leicht Lamellen.

35. *Sonnrosenöl*, *Oleum Helianthi*, mit demselben gelang es in einem Ringe von 4 Cm. Durchmesser Lamellen darzustellen, welche aber nur von kurzer Dauer waren.

36. *Leinöl*, *Oleum Lini*, ist wohl unter den fetten Oleum am geeignetsten zur Darstellung von Lamellen. Mit dem Ringe von 6 Cm. Durchmesser gelangen die Lamellen immer sehr leicht und waren von langer Dauer. Die Lamellen halten auch das Neigen des Ringes aus und zeigen dann am oberen Rande horizontale parallele rothe und grüne Farbenstreifen.

Die von Plateau in der dritten Abtheilung angeführten und charakterisirten Flüssigkeiten zeichnen sich auch durch die Eigenschaft aus, sehr grosse und auch in der freien Luft verhältnismässig lange aushaltende Lamellen zu bilden. Ich habe zur Darstellung derselben eine flache Glasschüssel von 30 Cm. Durchmesser mit Erfolg angewendet, zweifle aber nach den vorhandenen Anzeichen nicht, dass es gelingen werde, mit einigen dieser Flüssigkeiten noch viel grössere Lamellen zu Stande zu bringen. Zu den von Plateau angeführten hieher gehörigen Flüssigkeiten, nämlich Seifenwasser, Saponin-Lösung und der Lösung von Albumin in Wasser ist seitdem das Decoct der Quillaja-Rinde gekommen, welches die Eigenschaft, Lamellen und Blasen zu bilden, in hohem Grade besitzt. Ich habe eine Menge von Infusionen und Decoeten von Stoffen aus dem Pflanzenreiche in dieser Beziehung geprüft und gefunden, dass alle diese Flüssigkeiten bei einer gewissen Concentration in höherem Grade geeignet sind, Lamellen zu bilden als Wasser und die meisten der in den bisher angeführten Versuchen geprüften Flüssigkeiten. Ich glaube, dass die folgenden Angaben von einigem Interesse seyn dürften.

37. *Pfefferminzwasser*, *Aqua Menthae piperitae*, wie es in den Apotheken bereitet und vorrätig gehalten wird, bildet Lamellen von 6,8 Cm. Durchmesser.

38. *Zimmtwasser, Aqua Cinnamomi simpl.* der Apotheken, bildet Lamellen von 6 Cm. Durchmesser.

39. *Schwarzer Kaffee*, sowohl durch kalten Aufguß als durch Kochen bereitet, zeigte sich zur Lamellenbildung sehr geeignet. Ein Decoct von ungefähr 45 Grm. gemahlenem gebrannten Kaffee mit 0,6 Liter destillirtem Wasser lieferte Lamellen von 25 Centimeter Durchmesser.

40. *Decoct von grünem chinesischem Thee*, etwa 30 Grm. Thee auf 0,6 Liter Wasser, erzeugte ebenfalls mit dem größten Ringe von 25 Centimeter Durchmesser leicht und sicher Lamellen. Auch Kamillen-Thee ist zur Lamellenbildung geeignet.

41. *Ein Decoct von Tabakblättern* bildete ebenfalls Lamellen von 25 Cm. Durchmesser.

42. *Hopfen-Decoct* ist zur Lamellenbildung sehr geeignet und bildete die Lamellen von 25 Cm. Durchmesser leicht und sicher.

43. *Das Decoct der Quillaja-Rinde* zeigte sich für die Lamellenbildung vorzüglich geeignet, denn obgleich diese Flüssigkeit mir nur in geringer Quantität zur Hand war und den Boden meiner großen Glasschüssel nur knapp bedeckte, so gelangen die Lamellen mit dem größten Drahtringe von 25 Cm. Durchmesser doch immer mit großer Leichtigkeit und Sicherheit. Die Lamellen dauern lange aus und können sogar mit dem Ringe aus der horizontalen Lage in die senkrechte übergeführt werden, ohne zu zerspringen. Manche Lamellen hielten als senkrechte Ebenen eine halbe Minute aus, ehe sie zersprangen. Wenn der Ring horizontal gehalten wird, so hängt die Lamelle in der Mitte etwas tiefer, so daß sie von oben gesehen concav erscheint. Zu bemerken ist noch, daß die Lamellen aus dem Quillaja-Decoct nicht plötzlich in viele nach allen Seiten zerstiebende Tröpfchen zerspringen, sondern wenn sie zerreißen, sich nach dem Ringe zusammen ziehen und oft an demselben als zackige Fetzen eine kurze Zeit während des Zusammenziehens herabhängen.

44. *Lösung von Albumin.* Ich habe meine Albumin-

Lösungen nicht aus trocknem Albumin bereitet, sondern das Eiweiß von Hühnereiern, nachdem es von dem Dotter sorgfältig abgesondert worden war, gewogen und unter der Voraussetzung, daß das Eiweiß der Vögeleier 0,8 Wasser enthalte, das nötige Wasser zugesetzt, um das für die Lösung gewünschte Verhältniß zu erhalten. Die erhaltene Flüssigkeit wurde hierauf filtrirt. Ich habe auf diese Weise mir Lösungen bereitet, bei welchen 1 Theil Albumin auf 10, 20 und 30 Theile Wasser kommt, und mich überzeugt, daß dieselben sämmtlich zur Lamellenbildung sehr geeignet sind. Die zweite Lösung von 1 Th. Albumin in 20 Th. Wasser war in hinreichender Quantität vorhanden, um aus ihr mit dem größten Ringe Lamellen von 25 Cm. Durchmesser darstellen zu können. Dieselben gelangen sehr gut, waren aber von oben gesehen etwas concav, und konnten auch senkrecht gehalten werden, ohne sofort zu zerspringen.

45. *Lösung von Saponin.* Das von mir angewendete Saponin hat Hr. Apotheker Beckmann in Neisse die Gefälligkeit gehabt für mich aus der Wurzel der *Saponaria officinalis* darzustellen. Ich habe mir eine große Anzahl Saponinlösungen, von 1 Theil Saponin in 60 Theilen Wasser bis zu 1 Theil Saponin in 10000 Theilen Wasser, bereitet und überall den merkwürdigsten Einfluß des zum Theil sehr geringen Saponin-Gehalts auf die Cohäsion des Wassers gefunden. Die Bildung von Lamellen in meinem größten Drahtringe von 25 Cm. Durchmesser habe ich bis zu der Lösung von 1 Theil Saponin in 800 Theilen Wasser verfolgt, wobei sich ergab, daß auch bei diesem kleinen Saponingehalte die Flüssigkeit noch vollkommen zur Darstellung so großer Lamellen geeignet ist. Die Lamellen sind von oben gesehen concav und behalten, wenn sie zerreißen, in einzelne am Ringe herabhängende Stücke getheilt, noch einige Zeit ihre Flächenform bei, und ziehen sich, am Rande Wülste bildend, allmählich zusammen. Charakteristisch für die Saponinlösungen ist die schon von Plateau bemerkte geringe Beweglichkeit der

in der Oberfläche derselben befindlichen flüssigen Theilchen, welche auch bei den Lamellen unverkennbar in hohem Grade vorhanden ist.

Ein hübscher Versuch, welchen G. van der Mensbrughe¹⁾ mit der Plateau'schen Glycerin-Flüssigkeit angestellt hat, gelingt auch mit Saponin-Lösung. Leichte Körperchen, z. B. dünne Fäden von Baumwolle oder Seide werden von einer Lamelle aus Saponin-Lösung ebenso getragen wie von einer Lamelle aus Glycerin-Flüssigkeit oder Seifenwasser; nur zeigt sich der sogleich in die Augen fallende Unterschied, daß der auf der aus Glycerin-Flüssigkeit hergestellten Lamelle schwimmende Faden sich leicht hin- und herbewegt, während der Faden auf der Lamelle aus Saponin-Lösung starr und unbewegt auf derselben Stelle beharrt, wenn man auch den Ring mit der Lamelle lebhaft nach verschiedenen Seiten neigt. Knüpft man nach van der Mensbrughe's Anleitung die beiden Enden des Fadens zusammen, so daß er in sich geschlossen ist, und legt ihn, nachdem man ihn vorher benetzt hat, vorsichtig auf die flüssige Lamelle, so bleibt er auf derselben liegen und behält die unregelmäßige Gestalt, die er zufällig beim Auflegen erhalten hat. Berührt man die von den Faden umgränzte flüssige Lamelle mit dem Finger oder mit einem trocknen Hölzchen, so daß der innerhalb des geschlossenen Fadens befindliche Theil der Lamelle zerstört wird, so erweitert sich der Faden plötzlich zu einem Kreise, innerhalb dessen die Lamelle ein Loch hat. Der Vorgang ist bei einer Lamelle aus Saponin-Lösung derselbe wie bei einer Lamelle aus Glycerin-Flüssigkeit; nur geschieht die Umgestaltung des Fadens zu einem Kreise in der Saponin-Lamelle etwas langsamer, und bleibt der das Loch umschließende Faden unbeweglich an derselben Stelle haften, während er bei dem mit Glycerin-Flüssigkeit angestellten Experimente sich leicht beweglich zeigt. Die Ausbreitung des Fadens zu einem

1) Ueber die Spannung flüssiger Lamellen; von Hrn. G. van der Mensbrughe in diesen Ann. Bd. 133, S. 280.

Theil-
bar in
Mens-
siggkeit
Leichte
er Seide
ebenso
siggkeit
Augen
n-Flüs-
en sich
auf der
auf der-
mit der
Knüpf
die bei-
sich ge-
rher be-
bleibt er
Gestalt,
hrt man
mit dem
dass der
Theil der
en plötz-
nelle ein
Saponin-
rin-Flüs-
adens zu
ngsamer,
unbeweg-
dem mit
ch leicht
zu einem
van der

Kreise ist die Folge von der Spannung der Lamelle, welche bei der Saponin-Lösung ungefähr doppelt so stark ist als bei der Glycerin-Flüssigkeit, und welche den durch die geringere Beweglichkeit der Oberfläche veranlaßten Widerstand leicht überwindet.

46. *Seifenwasser* ist, wie allgemein bekannt und durch Versuche fast von Jedermann erprobt ist, ausgezeichnet durch seine Eigenschaft, Lamellen und Blasen zu bilden, ist gewissermaßen der Repräsentant aller Flüssigkeiten in dieser Beziehung. Die verschiedenen Sorten Seife in Beziehung auf ihre Brauchbarkeit für den vorliegenden Zweck zu prüfen, würde wohl zu weit führen und sich schließlich als eine undankbare und überflüssige Arbeit herausstellen. Ich habe mich daher auf Versuche mit gewöhnlicher Waschseife, mit der schon von Plateau empfohlenen Marseiller Seife und mit einer von Hrn. Prof. Dr. Poleck bereiteten Oelseife beschränkt. Alle aus diesen Seifen in sehr verschiedenen Verhältnissen bereiteten Lösungen zeigten ein ähnliches Verhalten, weshalb ich schließlich bloß Marseiller Seife bei meinen Versuchen verwendet habe.

Dafs mit Seifenwasser die Lamellen auch bei Anwendung meines größten Drahtringes von 25 Cm. Durchmesser gelingen, brauche ich kaum zu erwähnen. Ein sehr geringer Gehalt von Seife reicht schon hin, die Cohäsion des Wassers so zu ändern, daß dasselbe zur Bildung großer Lamellen geeignet wird. Mit Seifen-Wasser, welches nur ein Tausendtheil seines Gewichts Marseiller Seife enthält, gelang schon die Darstellung von Lamellen von 15 Cm. Durchmesser, welche sogar lange genug ausdauerten, um ihr Gewicht mit Hülfe der Waage zu bestimmen.

Die Lamellen aus Seifenwasser zeichnen sich durch ihre außerordentliche Beweglichkeit aus, welche durch leichte auf ihnen schwimmende Körperchen und die verschiedene Färbung einzelner flüssigen Theilchen erkennbar ist. Nicht bloß die geringste Bewegung des Drahtringes,

sondern auch die geringste Luftströmung, z. B. der Athem des Experimentators setzt und erhält die flüssige Lamelle in lebhafter Strömung. Will man die Entwicklung einer Lamelle ruhig beobachten, so muss man sie mit einer Glasglocke bedecken oder in einem geschlossenen Raume darstellen, z. B. in einer Flasche. Auf eine ausführliche Beschreibung des Verhaltens der flüssigen Lamellen in geschlossenen Räumen kann ich an dieser Stelle nicht eingehen; doch will ich in Beziehung auf die Lamellen aus Seifenwasser bemerken, dass ihre innere Beweglichkeit auch in geschlossenen Räumen nicht vollständig beseitigt ist. Dies tritt besonders hervor, wenn die Lamelle mit dem Ringe, wie es in der Regel der Fall ist, nicht vollkommen horizontal aufgestellt oder aufgehängt ist. Dann bemerkt man, wie einzelne an verschiedener Färbung erkennbare flüssige Theilchen aufwärts steigen, also leichter sind; andere offenbar schwerere Theilchen sieht man sich abwärts bewegen und an der tiefsten Stelle der Lamelle sich ansammeln. Die sich aufwärts und abwärts bewegenden flüssigen Theilchen erscheinen als kleine runde Scheibchen, welche aber meistens wegen des Widerstandes, den sie zu überwinden haben, mehr oder weniger verzogen sind und einen kleinen Schweif hinter sich herziehen oder auch eine Furche hinter sich zurücklassen. Die leichtesten von diesen kleinen in der Flüssigkeit vorhandenen heterogenen Körperchen oder Tröpfchen, welche an sich jedenfalls Kugelgestalt haben, in der Lamelle aber durch die in derselben vorhandene Spannung in die Breite gezogen sind und deshalb als Scheibchen oder runde von der übrigen Flüssigkeit oft scharf abgegrenzte Flecke erscheinen, sind außerordentlich durchsichtig und sehen daher von oben betrachtet, also im auffallenden Lichte, im Vergleich zu der übrigen farbigen Lamelle schwarz aus, von unten betrachtet oder im durchscheinenden Lichte sind sie hell oder durchsichtig. An der freien Luft zerplatzen die Lamellen in der Regel bald, nachdem diese schwarzen Flecke in gröfserer Zahl aufgetreten sind, in

geschlossenen Räumen und bei Fernhaltung jeder störenden Bewegung und Erschütterung sammeln sich die schwarzen Flecke auf der oberen oder höheren Seite der Lamelle zu einem Segmente und können unter günstigen Umständen zuletzt den größten Theil der Lamelle oder auch die ganze Lamelle einnehmen. Die Lamelle hat sich dann in ein äußerst zartes, das Licht nur sehr wenig reflectirendes und daher schwarz erscheinendes Häutchen verwandelt und die schwereren und farbig gewesenen Theilchen der Lamelle haben sich an der tieferen Seite und am Rande angesammelt. Man kann durch vorsichtiges Neigen und Bewegen der Lamelle diese schwereren Bestandtheile der Flüssigkeit wieder von dem Rande lösen, so daß dadurch die schwarz gewordene Lamelle wieder zum Theil oder auch fast ganz von einer das Licht stark reflectirenden und weiß und farbig erscheinenden Schicht bedeckt wird.

Ein Zusatz von Glycerin zu der Seifenlösung begünstigt die Bildung von Lamellen und Blasen nicht an und für sich; denn die mit Glycerin-Flüssigkeit darzustellenden Lamellen und Blasen sind nicht größer als die Lamellen und Blasen aus reinem Seifenwasser, wenn nur eine geeignete Seife und ein zweckmäßiges Verhältnis der Seife zum Wasser bei der Bereitung der Lösung angewendet worden ist. Dagegen bewirkt die Beimischung von Glycerin, daß die Lamellen und Blasen auch in der freien Luft außerordentlich haltbar und dauerhaft werden, was für die mit denselben anzustellenden Experimente von unschätzbarem Vortheile ist. Der Einfluß des Glycerin scheint darin zu bestehen, daß durch dasselbe die Verdunstung des Wassers verzögert, die Einwirkung des Sauerstoffs der Luft auf die in der flüssigen Lamelle oder Blase enthaltenen verschiedenen ölsauren Natronsalze erschwert und daher die in dem Seifenwasser verhältnismäßig rasch vorgehenden Veränderungen verlangsamt werden. Die Aussonderung der Substanz, welche die interessanten schwarzen Flecke liefert, geht in dem mit

Glycerin versetzen Seifenwasser viel langsamer und viel gleichmässiger vor sich, so daß dadurch das Gleichgewicht in der Lamelle oder Blase nicht leicht gestört und das Zerplatzen herbeigeführt wird.

Ein Zusatz von Glycerin hat auch bei den andern zur Lamellenbildung geeigneten Flüssigkeiten, z. B. bei Albumin-Lösung, bei den Decoeten von Quillaja-Rinde und von Hopfen etc. einen ähnlichen nützlichen Einfluß. Die Bildung von Schimmel-Pilzen in den Flüssigkeiten, welche organischen Ursprungs sind, wird durch Glycerin allerdings nicht verhindert, doch ist dieser Umstand für die Beobachtung nicht von Nachtheil, da die Schimmelbildung der Flüssigkeit die Eigenschaft, Lamellen zu bilden, nicht entzieht¹). Will man das Schimmeln dieser Flüssigkeiten verhindern oder hemmen, so braucht man nur einige Tröpfchen Carbolsäure zuzusetzen, welche der Lamellenbildung nicht hinderlich sind.

Der von Plateau entdeckte günstige Einfluß, welchen ein Zusatz von Glycerin zu der Seifenlösung auf die Haltbarkeit und Dauer der daraus dargestellten Lamellen und Blasen ausübt, und welcher sich auch bei andern Flüssigkeiten, wie z. B. bei der Saponin-Lösung und dem Quillaja-Decoet zeigte, führte mich zu dem Gedanken, ver-

- 1) Bei meinen Versuchen über die Lamellenbildung hatte ich zugleich Gelegenheit, eine, wie es scheint, interessante Beobachtung über die Schimmelbildung zu machen, welche ich hier mittheile. In den Flaschen, in welchen eine mit Glycerin versetzte organische Flüssigkeit aufbewahrt wird, zeigen sich, wenn die Flüssigkeit die Flasche nur zum Theil füllt und längere Zeit unbewegt bleibt, an der trocknen Innenwand äußerst zarte, um einen Punkt oder Kern herum regelmäßig gestaltete sternförmige Pilzgebilde, welche mit den positiven elektrischen Lichtenberg'schen Figuren oft eine auffallende Ähnlichkeit haben. Diese Gebilde zeigten sich besonders schön und häufig in Flaschen, welche mit Glycerin versetzte Albumin-Lösung, Hopfen-Decoet mit Glycerin oder schwarzen Kaffe mit Glycerin enthielten. Dieselben Flüssigkeiten ohne Glycerin-Zusatz schimmelten reichlich auf ihrer Oberfläche, die erwähnten zierlichen Gebilde an der inneren trocknen Glaswand der Flasche habe ich bei ihnen jedoch nicht bemerkt.

schiedene zur Lamellenbildung mehr oder weniger geeignete Flüssigkeiten in verschiedenen Verhältnissen miteinander zu mischen und das Verhalten der Mischungen zur Lamellenbildung zu ermitteln. Die folgende Mittheilung dürfte vielleicht von einigem Interesse seyn.

Die in dem Versuche Nr. 13 angeführte ziemlich concentrierte Lösung von Salpeter, mit welcher Lamellen von 4 Cm. Durchmesser dargestellt werden konnten, wurde mit einer Lösung von Marseiller-Seife vermischt. Das Mischungsverhältnis wurde, weil der Versuch einen andern Zweck hatte, nicht bestimmt, doch war der Zusatz der Seifenlösung im Verhältnis zu der Menge Salpeterlösung nur klein. Das Gemisch zeigte sich nicht blos zur Darstellung großer Lamellen, sondern auch zur Erzeugung großer Blasen fast ebenso geeignet, wie bloßes Seifenwasser. Ich habe diesen Versuch angestellt, um den Einfluß des galvanischen Stroms auf eine solche Lamelle und Blase zu ermitteln, und die Salpeterlösung angewendet, um eine bessere Leitung zu erhalten. Der Leitungs widerstand war jedoch in der Blase ebenso wie in der Lamelle so bedeutend, daß auch bei Anwendung von zwei Flaschen-Elementen keine Wirkung zu erkennen war.

Ein anderer Versuch war direct auf die Entwicklung der Lamellenbildung gerichtet. Ich bereitete mir eine concentrierte Lösung von Kochsalz, indem ich 180 Gramm Kochsalz in einem halben Liter Wasser auflöste und die Lösung filtrte. Diese Lösung bildete mit einem Ringe von 4 Cm. Durchmesser immer leicht und sicher die Lamelle und auch mit dem nächst größeren Ringe von 4,7 Cm. gelang die Lamellenbildung, wenn auch nicht regelmäßig. Nachdem 4 Kubik-Centimeter einer Lösung von Marseiller Seife im Verhältnis 1 : 40 zugesetzt worden waren, gelang die Darstellung von Lamellen mit einem Ringe von 10 Cm. Durchmesser; nach einem Zusatz von 15 Kubik-Centimeter Seifenlösung gelangen Lamellen von 15 Cm. Durchmesser und nachdem im Ganzen 20 Kubik-Centi-

meter der Seifenlösung zugesetzt worden waren, gelangen Lamellen von 20 Cm. Durchmesser.

Um den Einfluß eines Zusatzes von Saponin auf dieselbe Weise zu prüfen, wurde eine Kochsalzlösung von derselben Concentration bereitet, zu welcher zunächst 5 Kubik-Centimeter einer Saponinlösung gegossen wurden, in welcher 1 Theil Saponin in 200 Theilen Wasser gelöst war. Dieser Zusatz reichte hin, um Lamellen von 10 Cm. Durchmesser gelingen zu lassen. Nach einem Zusatze von 100 Kubik - Centimeter Saponinlösung gelangen Lamellen von 20 Cm. und nachdem noch 50 Kubik - Centimeter Saponinlösung hinzugefügt worden waren, Lamellen von 25 Cm. Durchmesser. In der Flüssigkeit waren zuletzt ungefähr 0,75 Gramm Saponin, 180 Gramm Kochsalz und 550 Gramm Wasser enthalten. Sie ist jetzt, 24 Stunden nach der Mischung, noch klar und zur Darstellung der Lamellen von 25 Cm. Durchmesser geeignet. Durch den Zusatz von Seifenwasser wurde die Salzlösung, wie ich noch bemerken muß, sofort trübe und verlor auch schon während der Versuche von ihrer Fähigkeit gröfsere Lamellen zu bilden.

Auch Wasserglas, welchem ein zweckinäßiger Zusatz von Seifenlösung gegeben wird, erhält dadurch die Eigenschaft viel gröfsere Lamellen zu bilden, als in den Versuchen unter Nr. 21 und 22 angegeben ist. Die Lamellen sind von langer Dauer, können senkrecht gehalten werden, ohne zu zerplatzen; aber sie zerplatzen doch meistentheils ehe sie erstarren, wenn sie aber so lange aushalten, so ziehen sie sich doch beim Erstarren in Falten und bekommen Risse. Man kann aus mit Seifenlösung vermischtem Wasserglase in derselben Weise wie aus Seifenwasser mit einer Pfeife ziemlich grosse Blasen darstellen, welche in eben so schönen Farben erglänzen wie die Seifenblasen, und welche oft so lange aushalten, bis die dünne Haut erstarrt. Gewöhnlich zerreißt in dem entscheidenden Moment die Haut und fällt, sich in die Länge dehnend, wie ein dünner schleierähnlicher Lappen zusammen; manchmal

gelingt es aber auch ein kugelähnliches Gebilde von außerordentlicher Zartheit zu erhalten, welches in schönen Farben erglänzt. Wenn man das Rohr der Pfeife schliesst, so platzt die Blase regelmässig vor dem Erstarren, lässt man dagegen das Rohr offen, so zieht sie sich, weil die Luft entweichen kann, zuerst wegen der in ihr vorhandenen Spannung zusammen und wird allmälig kleiner, dann verliert die Oberfläche ihre Klarheit und Glätte, bekommt Runzeln und Falten und die ungleichmässige Zusammenziehung der successive erstarrenden Theile der Haut verursacht eine mehr oder weniger erhebliche Veränderung der Kugelgestalt. Ist das auf diese Weise erhaltene Residuum der flüssigen Blase getrocknet und fest geworden, so ändert es sich nicht weiter und kann, wenn es vor Luftbewegungen und Erschütterungen geschützt wird, lange aufbewahrt werden.

Aus Flüssigkeiten, welche für die Lamellenbildung sich wenigstens ziemlich gut eignen, kann man Lamellen noch auf andere Weise als mit Hülfe der Drahtringe darstellen. Zunächst ist zu bemerken, dass man statt des Drahtringes den Rand einer an beiden Seiten offnen cylindrischen Röhre anwenden kann. Der Vorgang bei der Bildung einer Lamelle an dem in die Flüssigkeit getauchten Ende einer cylindrischen Röhre ist ganz derselbe wie bei der Bildung der Lamelle innerhalb eines Drahtringes. Es zieht sich mit dem aus der Flüssigkeit gehobenen Rande des Glas-cylinders eine Haut in die Höhe, welche sich zusammen zieht und in einem obern und untern Theil trennt, von welchem jener die Lamelle, diese eine auf der Flüssigkeit schwimmende Blase bildet. Ist die Röhre conisch, so bewegt sich eine am weitern Ende erzeugte Lamelle in Folge der Spannung nach dem andern Ende hin, geradeso wie in einer Capillar - Röhre ein die Innenwand benetzender Tropfen sich nach der Seite hinzieht, wo die Röhre sich verengt. Ist die Röhre sehr conisch, wie z. B. die gewöhnlichen gläsernen Filtrir-Trichter, deren Axenschnitt ungefähr ein gleichseitiges Dreieck ist, so steigt die an

dem untern weiten Rande des Trichters erzeugte Lamelle rasch in die Höhe; stellt man den Versuch mit einer weniger stark conischen Röhre an, so muß man die innere Wand vorher benetzen und die Röhre horizontal halten, wenn man die Wanderung der Lamelle beobachten will. Man kann diesen Vorgang benutzen, um auf eine sehr einfache Weise Lamellen in geschlossenen Räumen darzustellen. Man wählt eine conische Glasröhre von geeigneter Weite, stellt an dem weitern Ende derselben eine Lamelle dar, läßt dieselbe bis zu der Stelle wandern, wo man sie beobachten will, und schließt alsdann die beiden offnen Seiten der Röhre durch passende Korke oder durch auf den geschliffenen Rand passende Glasplatten. Auch Glascylinder lassen sich zu demselben Zwecke anwenden, doch muß man, wenn man dieselben oben oder unten schließen will, die Lamelle von dem Rande entfernen und nach innen bewegen, was sich durch Anwendung des Luftdrucks auf so einfache Weise bewirken läßt, daß es überflüssig scheint, das geeignete Verfahren zu beschreiben.

Taucht man ein Weinglas oder ein Wasserglas verkehrt d. h. so daß die Oeffnung unten ist, in eine geeignete Flüssigkeit und hebt es dann wieder vorsichtig in die Höhe, so zieht man mit demselben eine Lamelle von der Flüssigkeit ab; man dreht dann das Gefäß um und kann die die Oeffnung verschließende Lamelle bequem beobachten. Will man das Gefäß mit einer Glasplatte bedecken, um die Lamelle vor den äußern Störungen zu schützen und die Verdunstung des Wassers zu verzögern, so muß man zuvor durch Aussaugen der Luft die Lamelle von dem Rande entfernen. Dies geht sehr gut an, da die aus einer geeigneten Flüssigkeit dargestellten Lamellen nicht zerspringen, wenn man sie mit einem vorher benetzten dünnen Röhrchen z. B. mit einem nicht zu engen Glasfaden durchbohrt. Saugt man an diesem Röhrchen, so treibt der äußere Luftdruck die Lamelle nach dem Innern des Glases. Man kann auf diese Weise sehr be-



Lamelle
in einer we-
ie innere
l halten,
ten will.
eine sehr
nen dar-
on geeig-
lben eine
wandern,
n die bei-
orke oder
asplatten,
wecke an-
oben oder
ande ent-
h Anwen-
rken lässt,
fahren zu

as verkehrt
geeignete
tig in die
le von der
und kann
uem beob-
platte be-
rungen zu
verzögern,
die Lamelle
gut an, da
en Lamellen
vorher be-
nt zu enge
Röhrchen,
e nach dem
ise sehr be-

quem vergleichende Versuche über die Ausdauer der bedeckten und unbedeckten Lamellen anstellen und sich überzeugen, um wie viel länger die Blasen in dem abgeschlossenen Raume des Glases ausdauern, selbst wenn die auf den Rand gelegte Glasplatte nicht luftdicht schließt. Die unbedeckten Lamellen aus Seifenlösung zerplatzen, sobald die schwarzen Flecke sich in größerer Zahl entwickeln, während die zu derselben Zeit aus derselben Flüssigkeit dargestellten, aber mit einer Glasplatte bedeckten Lamellen noch lange aushalten und Gelegenheit geben zu der längern und genauern Beobachtung der schwarzen Flecke, welche sich in der Lamelle vereinigen, zu einem Segmente ansammeln und oft zuletzt sich über die ganze Lamelle ausdehnen.

Es gibt noch ein anderes Verfahren, aus geeigneten Flüssigkeiten Lamellen in geschlossenen Räumen, nämlich in zugestopften Flaschen, darzustellen, welches J. Plateau¹⁾ als bekannt und sonderbar bezeichnet und folgendermaßen beschreibt: „Man fasse mit beiden Händen, am Boden und am Halse, eine Flasche, in welcher sich eine kleine Menge Glycerin-Flüssigkeit befindet, halte sie horizontal und ertheile ihr eine solche Bewegung, daß die Flüssigkeit genötigt wird, die ganze concave Innenwand zu benässen. So wie man damit anhält, sieht man insgemein eine oder mehrere Lamellen die Flasche quer durchsetzen. Man kann die Flasche dann aufrichten und mit ihren nun horizontalen Lamellen auf einen Tisch stellen.“

Diese Methode der Lamellenbildung ist außerordentlich interessant und für das Studium der Entwicklung der Lamellen von verschiedenen Flüssigkeiten sehr nützlich. Das beschriebene Verfahren ist nämlich nicht bloß bei der Glycerin-Flüssigkeit, sondern auch bei reinem Seifenwasser und vielen andern Flüssigkeiten, welche zur Lamellenbildung einigermaßen geeignet sind, verwendbar. Ich habe dasselbe lange Zeit hindurch bei der Beobach-

1) Pogg. Ann. Bd. 130, S. 270.

tung der Bildung und Entwickelung der Lamellen auf verschiedenen Flüssigkeiten benutzt, kann aber an dieser Stelle auf die Resultate dieser Versuche nicht näher eingehen, weil ich sonst die Gränzen, die ich dieser Mittheilung setzen muß, erheblich überschreiten würde. Ich schließe daher mit den folgenden Bemerkungen. Schon Plateau hat darauf aufmerksam gemacht, daß die aus Glycerin-Flüssigkeit dargestellten Lamellen merkwürdige Eigenschaften besitzen, eine erstaunliche Dauer haben und daß ihre Farben das Schwarz erreichen. Als merkwürdiges Beispiel führt er an, daß eine solche Lamelle, in einer Flasche von 7 Centimeter Durchmesser dargestellt, sich achtzehn Tage gehalten hat und daß sie in ihrer ganzen Ausdehnung schwarz geworden war. Als Beispiele von sehr langer Dauer von aus andern Flüssigkeiten dargestellten Lamellen führe ich folgende drei an, bemerke aber, daß die von mir angewendeten Flaschen einen inneren Durchmesser von ungefähr 6 Centimetern haben. Ein Decoct von Kartoffelblüthen, welches sich zur Lamellenbildung sehr geeignet zeigte, wurde zur Darstellung von Lamellen in einer Flasche benutzt. Die Flasche blieb nach der Darstellung der Lamelle ruhig am Fenster stehen und wurden die an der Lamelle zu bemerkenden Veränderungen von Zeit zu Zeit notirt. Die Zeit, welche die Lamelle aushielt, war, obgleich die Umstände immer dieselben zu seyn schienen, nicht immer gleich. Die längste Zeitdauer solcher Lamellen war 4 Tage, 5 Tage, 6 Tage und einmal 9 Tage. Eine unter denselben Umständen und auf dieselbe Weise aus Albuminlösung, der etwas Glycerin zugesetzt worden war, dargestellte Lamelle hielt sich 5 Wochen, und eine Lamelle, welche aus Quillaja-Decoct mit Glycerin-Zusatz am 1. September 1872 in einer Flasche dargestellt worden war, hielt sich bis zum 11. März 1873, ist also über ein halbes Jahr alt geworden.

Die aus geeigneten Flüssigkeiten dargestellten Lamellen halten eine rasche Rotationsbewegung aus. Wenn man

daher eine solche Lamelle, die in einem Ringe, einer Schale oder einer Flasche gebildet ist, mit einer Rotationsmaschine in rasche Drehung versetzt, so verdickt sich in Folge der Centrifugalkraft die dünne flüssige Haut nach dem Rande zu und wird in der Mitte dünner. Bei Lamellen, welche aus Flüssigkeiten, die an ihrer Oberfläche leicht beweglich sind, dargestellt sind, z. B. bei Lamellen aus der Plateau'schen Glycerin-Flüssigkeit, entstehen bei einer gewissen Rotationsgeschwindigkeit die Newton'schen Farbenringe, welche sich mit der Rotationsgeschwindigkeit in Beziehung auf die Farben und die Breite der Ringe ändern; bei Lamellen aus Saponin-Lösung ist der Widerstand, welchen die geringe Beweglichkeit der flüssigen Theilchen an der Oberfläche der Wirkung der Centrifugalkraft entgegen setzt, so groß, daß die Newton'schen Farbenringe nicht entstehen. Man sieht zwar, wenn man eine Saponin-Lamelle einige Zeit in möglichst rascher Rotation erhalten hat, auf derselben auch schöne, intensiv gefärbte Ringe, darf dieselben aber nicht mit den Newton'schen Ringen verwechseln, denn sie sind nur das durch die Rotationsbewegung im Auge erzeugte Bild von ganz anderen eigenthümlich und unregelmäßig gestalteten Farbenbildern, welche man auf der Lamelle starr und unbeweglich sieht, wenn man die Rotationsmaschine zum Stillstand bringt. Inhibirt man die Rotation einer aus Glycerin-Flüssigkeit dargestellten Lamelle, so verschwimmen und verschwinden sofort die bis dahin auf ihr beobachteten Farbenringe, indem sich das durch die Centrifugalkraft gestörte Gleichgewicht in der Lamelle rasch wieder herstellt und die in der Mitte vorhanden gewesene Verdünnung verschwindet. Die Rotationsbewegung ist übrigens auf die Saponin-Lamelle keineswegs ohne Einfluß, denn wenn man zwei unter denselben Umständen aus derselben Saponin-Lösung dargestellte Lamellen, von welchen die eine in Rotation versetzt wird, während die andere ruht, mit einander vergleicht, so sieht man bei der ersteren in Folge der Wir-

kung der Centrifugal-Kraft und wohl auch der Erschütterung eigenthümliche unregelmässige Farbenbilder in kurzer Zeit entstehen, während sich die andere erst viel später färbt und ganz andere Zeichnungen und Farben zeigt.

Ich bemerke schliesslich noch, dass man auch eine aus Glycerin - Flüssigkeit oder Saponin - Lösung hergestellte Blase mit der Rotationsmaschine in ziemlich rasche Rotation versetzen kann, und dass sich dabei die sogenannte Abplattung d. h. die Verkürzung der Rotationsaxe und die Erweiterung des Aequators der flüssigen Kugel deutlich erkennen lässt. Dieser Versuch, welcher ein Pendant zu dem berühmten Plateau'schen Versuche mit der in der alkoholischen Flüssigkeit rotirenden Oelkugel ist, ließ sich allerdings nicht sehr weit treiben, weil die rotirende Blase in Folge der Schwankungen der Axe meiner Rotationsmaschine bei grösserer Drehungs-Geschwindigkeit die centrische Lage verlor und umkippte und zersprang; doch würden sich, im Fall sich ein besonderes Interesse für die Vervollkommenung dieses Versuches darbieten sollte, die dazu erforderlichen Vorkehrungen ohne Zweifel leicht treffen lassen. Die Blasen aus Glycerin-Flüssigkeit und aus Saponin-Lösung zeigen bei diesem Versuche kein wesentlich verschiedenes Verhalten.

IV. Ueber den Zusammenhang der galvanischen Induction mit den elektrodynamischen Erscheinungen; von E. Edl und.

1.

Zwei Jahre nach Faraday's wichtiger Entdeckung der galvanischen Induction stellte Lenz folgende allgemeingültige Regel für die Bestimmung der Richtung des In-

ductionsstromes auf: Wenn man durch mechanische Mittel einen metallischen Leiter B in der Nähe eines galvanischen Stromes A in Bewegung setzt, so entsteht in dem Leiter B ein Inductionsstrom, dessen Richtung so ist, daß der Leiter B in Folge der elektrodynamischen Wirkung zwischen dem Inductionsstrom und dem galvanischen Strom A eine entgegengesetzte Bewegung von der, die ihm durch mechanische Mittel gegeben worden, erhalten würde. Hiebei wird jedoch vorausgesetzt, daß der Leiter sich nur in der fraglichen Richtung hin- und herbewegen könne¹⁾. Diese Regel für die Bestimmung der Richtung der Inductionsströme gründete Lenz auf praktische Versuche, die theils von ihm, theils von andern angestellt waren. Ihre Gültigkeit hat demnach ausschließlich auf empirischen Gründen beruht. Inzwischen ist es leicht mittelst der mechanischen Wärmetheorie zu beweisen, daß der betreffende Zusammenhang der Induction mit den elektrodynamischen Erscheinungen nothwendig stattfinden muß, wenn nicht die Natur mit sich selbst in Widerspruch kommen soll.

Wir denken uns zwei geschlossene Systeme linearer Leiter A und B , deren ganzer Leitungswiderstand resp. t und t_1 ist. Ferner nehmen wir an, ein Strom von der Stärke J gehe durch A und von der Stärke J_1 durch B . Wenn diese Ströme keine äußere Arbeit verrichten, besteht ihre ganze Thätigkeit darin, daß sie in den Leitungen Wärme entwickeln. Wir nehmen jetzt an, daß die beiden Leitungen einander nahe seyen, und das die eine B in einer bestimmten Richtung beweglich sey. Wenn nun die Leitung B durch eine äußere Kraft in dieser Richtung verrückt wird, und die elektrodynamische Wirkung zwischen den beiden Strömen eine Componente hat, die B in derselben Richtung fortzubegen sucht, so bringen die Ströme außer Wärmeentwicklung auch eine äußere Arbeit hervor: Die elektrodynamische Wirkung zwischen den Strömen hat nämlich dazu beigetragen, die Leitung B in die ge-

1) Pogg. Ann. Bd. 31, S. 483.

nannte Richtung zu führen, hat demnach eine mechanische Arbeit verrichtet. Die Wärmeentwickelung wird natürlich dann geringer, als wenn die beiden Leitungen fortwährend in Ruhe wären. Aber eine Verminderung der producirten Wärmemenge kann, wie weiter unten gezeigt werden soll, nur dadurch bewirkt werden, dass durch die Veränderung der relativen Lage der Leiter zu einander Ströme erzeugt werden, die in entgegengesetzter Richtung gegen die ursprünglichen gehen. Anstatt der Stromstärken J und J_1 erhält man deshalb $J - i$ und $J_1 - i_1$, wenn man mit i und i_1 die Ströme bezeichnet, die auf diese Weise entstehen.

Wir bezeichnen mit G die Componente in der genannten Richtung der elektrodynamischen Wirkung, die die Leiter A und B auf einander ausüben, wenn Ströme von der Stärke Eins durch dieselben gehen. Wenn der Leiter B sich im Zeitelement dt um das Wegelement dx in der mehrgenannten Richtung fortbewegt, so bringen die Ströme außer Wärmeentwickelung eine äusserne mechanische Arbeit hervor, die mit

$$G(J - i)(J_1 - i_1) dx$$

ausgedrückt wird. Nimmt man nun den Unterschied zwischen der Wärmemenge, die in dem Zeitelemente dt producirt wird, wenn die Leitungsbahnen in Ruhe sind, und derjenigen, die in derselben Zeit entsteht, wenn B in der erwähnten Richtung fortbewegt wird, und multiplicirt diesen Unterschied mit dem mechanischen Aequivalent der Wärme, so muss das Product der äusseren mechanischen Arbeit gleich seyn.

Die Wärmemenge, die von dem Strome in der Leitung in Folge des Widerstandes erzeugt wird, ist dem Quadrate der Stromstärke, mit dem Widerstande multiplicirt, proportional. Wenn k die Wärmemenge bedeutet, die solchergestalt in der Zeiteinheit in einem Leiter erzeugt wird, dessen Widerstand der Einheit gleich ist, falls durch denselben ein Strom geht, dessen Stärke = 1 ist, so wird diese Wärmemenge, wenn die Stromstärke J

und der Widerstand l ist, $= kIJ^2$. Dieses Gesetz der Wärmeentwickelung gilt für alle Verhältnisse. Mittelst dieses und eines andern Erfahrungssatzes, dessen Richtigkeit übrigens aus der mechanischen Wärmetheorie hervorgeht, habe ich in einem vorhergehenden Aufsatze bewiesen, daß an der Stelle, wo die elektromotorische Kraft ihren Sitz hat, eine Wärmemenge verbraucht wird, die der Constanten k , multiplicirt mit dem Producte aus der elektromotorischen Kraft und der Stromstärke, gleich ist, wenn nämlich der Strom in der Richtung geht, die die elektromotorische Kraft fordert; wogegen eine eben so große Wärmemenge erzeugt wird, wenn der Strom in entgegengesetzter Richtung geht¹⁾). Dasselbe Gesetz kann ohne Hülfe von Erfahrungssätzen aus der von mir aufgestellten Theorie der elektrischen Erscheinungen deducirt werden²⁾). Wenn die beiden Leitungsbahnen in Ruhe sind, wird demnach in Folge des Widerstandes, den der Strom erfährt, eine Wärmemenge erzeugt, die in der Leitung A gleich klJ^2 und in der Leitung B gleich $kl_1J_1^2$ ist. Dagegen wird in der ersten Leitung die Wärmemenge kEJ und in der zweiten die Wärmemenge kE_1J_1 verbraucht, wenn E und E_1 die elektromotorischen Kräfte bezeichnen. Aber $E = lJ$ und $E_1 = l_1J_1$. Die verbrauchte Wärmemenge ist demnach gleich der erzeugten, und in Folge dessen die Wärmemenge, die der Strom im Ganzen hervorbringt, gleich Null. Die einzige Wärme, die in den Leitungen entsteht, ist die, die durch die chemischen Processe in den Elektromotoren hervorgebracht wird, im Fall hydroelektrische Säulen benutzt werden. Diese Wärme macht aber das Aequivalent dieser Processe aus, und würde eben so groß seyn, wenn dieselben Processe stattfänden, ohne daß ein Strom da wäre.

1) *Oefversigt af K. Vetenskaps Ak. Förh. Pogg. Ann. Bd. 137. Phil. Mag. (4) 38. Arch. des sciences phys. et nat. T. 36. Annales de chimie et de phys. (4) T. 18.*

2) *Théorie des phénomènes électriques p. 45. K. Vetenskaps Akad. Handlingar Bd. 12, No. 8.*

Während der Induction ist dagegen die Stromstärke resp. $J - i$ und $J_1 - i_1$. Die Wärmemenge, die diese Ströme in Folge des Widerstandes erzeugen, ist demnach resp. $kl(J - i)^2$ und $kl_1(J_1 - i_1)^2$. Die in den Elektromotoren verbrauchte Wärmemenge ist dagegen resp. $kIJ(J - i)$ und $kl_1J_1(J_1 - i_1)$. Diese letzteren sind grösser als die ersten, weshalb in diesem Falle im Ganzen ein Verbrauch von Wärme stattfindet. Subtrahirt man die erzeugte Wärmemenge von der verbrauchten, so findet man, dass in beiden Leitungen zusammen ein Wärmeverbrauch stattfindet, der $= k(IJi - li^2 + l_1J_1i_1 - l_1i_1^2)$ ist. Multiplizirt man diesen Ausdruck mit dt , so erhält man den Wärmeverbrauch in diesem Zeitelemente, und wenn man endlich dieses Product mit dem mechanischen Wärmeäquivalent A multiplizirt, so bekommt man eine Grösse, die der oben angegebenen mechanischen Arbeit gleich seyn muss. Man bekommt auf diese Weise:

$$Ak(IJi - li^2 + l_1J_1i_1 - l_1i_1^2) dt = G(J - i)(J_1 - i_1) dx.$$

Wenn die Leitung B sich mit der Geschwindigkeit w bewegt, so ist $\frac{dx}{dt} = w$. Setzt man überdies $\frac{1}{Ak} = 2\varepsilon$, so erhält man hieraus:

$$IJi - li^2 + l_1J_1i_1 - l_1i_1^2 = 2\varepsilon G(J - i)(J_1 - i_1) w \quad (1).$$

Wenn die Leitungsbahn B , anstatt in der oben angeführten Richtung gerückt zu werden, von einer äusseren mechanischen Kraft mit derselben Geschwindigkeit in entgegengesetzter Richtung geführt wird, so wird eine gewisse mechanische Arbeit durch die gegenseitige Einwirkung der Ströme auf einander verbraucht. Die elektrodynamische Thätigkeit zwischen den Strombahnen sucht in diesem Falle die Bewegung zu hindern, die B von der äusseren mechanischen Kraft erhält. Die Wärmeentwicklung muss dann selbstverständlich grösser werden, als wenn die Leitungsbahnen in Ruhe verbleiben. Es muss nämlich in den Leitungen eine Wärmemenge entstehen, die der von den elektrodynamischen Kräften verbrauchten

mechanischen Arbeit aequivalent ist. Dieses kann nur dadurch geschehen, daß Inductionsströme erregt werden, die in derselben Richtung wie die Ströme J und J_1 gehen. Nennt man diese Ströme i_2 und i_3 , so wird demnach die Stromstärke resp. $J + i_2$ und $J_1 + i_3$. Die äußere verbrauchte mechanische Arbeit wird in diesem Falle

$$G (J + i_2) (J_1 + i_3) dx;$$

die in den Elektromotoren verbrauchte Wärme

$$k (IJ^2 + IJi_2 + I_1 J_1^2 + I_1 J_1 i_3) dt;$$

und die Wärme, die die Ströme erzeugen,

$$k (IJ^2 + 2IJi_2 + I_1 J_1^2 + 2I_1 J_1 i_3 + I_1 i_3^2) dt,$$

welche Quantität grösser ist als die zunächst vorhergehende. Mit Beibehaltung derselben Bezeichnung, wie vorhin, erhält man auf diese Weise:

$$IJi_2 + Ii_2^2 + I_1 J_1 i_3 + I_1 i_3^2 = 2\varepsilon G (J + i_2) (J_1 + i_3) w \quad (2).$$

Man kann sich leicht davon überzeugen, daß die Veränderung der Wärmeproduction in den Leitungsbahnen, die nothwendig stattfinden muss, da die Ströme äußere mechanische Arbeit verrichten oder verbrauchen, nur durch die Hervorrufung der genannten Inductionsströme bewirkt werden kann. Der Wärmeverbrauch in der Säule ist, wie gesagt, $= kEJ$, und die vom Strome in Folge des Widerstandes erzeugte Wärmemenge $= kIJ^2$, wenn k , E , J und I dieselbe Bedeutung wie vorhin haben. Weil $kEJ = kIJ^2$, wird die Production und Consumtion der Wärme gleich gross. Diese Gleichheit zwischen beiden muss eine Veränderung erleiden, wenn die Ströme äußere Arbeit verrichten oder verbrauchen. Eine solche Veränderung aber könnte nicht auf die Weise hervorgebracht werden, daß die elektromotorische Kraft der Säule dadurch verändert würde, daß die Ströme äußere Arbeit verrichteten oder verbrauchten, denn wenn diese Kraft z. B. mE würde, würde die Stromstärke zu gleicher Zeit mJ werden, und demnach der Wärmeverbrauch in der Säule km^2EJ und die in der Leitung in Folge des Widerstandes erzeugte

Wärmemenge $m^3 k l J^2$. Die erzeugte Wärmemenge wäre demnach fortwährend der verbrauchten gleich. Auf dieselbe Weise würde auch eine Veränderung des Widerstandes nicht zu dem gewünschten Ziele führen können; denn wenn l zu ml verändert würde, würde die Stromstärke $\frac{J}{m}$ werden, die erzeugte Wärmemenge $\frac{k J^2 l}{m}$ und die in der Säule verbrauchte $\frac{k E J}{m}$. Sie wären demnach fortwährend gleich groß. Ueberdies ist es an und für sich durchaus undenkbar, dass die elektromotorische Kraft in der Säule oder der Widerstand dadurch verändert werden könnte, dass die Ströme äußere mechanische Arbeit verrichteten oder verbrauchten. Die einzige Möglichkeit eine Production oder Consumtion der Wärme zu bewirken, während die Ströme äußere mechanische Arbeit verbrauchen oder erzeugen, wird demnach, dass Inductionsströme entstehen, die zu den ursprünglichen addirt oder von denselben subtrahirt werden. Die galvanische Induction ist also in dem vorliegenden Fall eine Notwendigkeit.

Die beiden Gleichungen (1) und (2) geben an, auf welche Weise die Inductionströme i , i_1 , i_2 und i_3 in den beiden Inductionsfällen von G und w , sowie von den inducirenden Stromstärken J und J_1 und den Widerständen l und l_1 abhängig sind. Diese Gleichungen drücken die mathematischen Bedingungen aus, denen nach der mechanischen Wärmetheorie Genüge geleistet werden muss.

Wenn $J_1 = J$ und $l_1 = l$, so ist auch $i_1 = i$, und man bekommt dann aus der Gleichung (1):

$$2lJi - 2li^2 = 2\varepsilon G(J-i)^2 w;$$

oder

$$l(J-i)i = \varepsilon G(J-i)^2 w.$$

Weil $J - i$ nicht $= 0$ werden kann, so bekommt man hieraus:

$$li = \varepsilon G(J-i)w \dots \dots \dots \quad (3).$$

Aus der Gleichung (2) bekommt man auf dieselbe Weise:

$$li_2 = \varepsilon G(J+i_2)w \dots \dots \dots \quad (4).$$

Nun ist in dem vorigen Falle $J - i$ und in dem letzten $J + i_1$ die Stromstärke, die *wirklich* inducirt; die ursprüngliche Stromstärke J ist durch die Reaction zu $J - i_1$ und $J + i_1$ verändert worden. Hieraus folgt demnach, dass der Inductionsstrom, mit dem Leitungswiderstände der Inductionsbahn multiplicirt, dem Producte aus εG und der während der Induction wirklich inducirenden Stromstärke gleich ist.

Was die Richtung der beiden gleich großen Inductionsströme i betrifft, so geht jeder von diesen in entgegengesetzter Richtung gegen den Strom J , der in derselben Leitungsbahn läuft, wogegen die beiden gleichen Inductionsströme i_1 in derselben Richtung wie die beiden letzteren gehen.

Das eben erwähnte Resultat hinsichtlich der Größe der Inductionsströme gilt ohne Weiteres nur für den Fall, für welchen es bewiesen worden ist, nämlich wenn $J_1 = J$ und $l_1 = l$ ist. Es lässt sich jedoch beweisen, dass daselbe allgemein gültig ist.

Die Gleichung (1) kann unter der Form

$$\frac{li}{J_1 - i_1} + \frac{l_1 i_1}{J - i} = 2 \varepsilon G w$$

geschrieben werden.

$2 \varepsilon G w$ ist von den betreffenden Stromstärken, sowie auch von den Widerständen l und l_1 unabhängig. Es ist klar, dass i dieselbe Function von $J_1 - i_1$ und l seyn muss, die i_1 von $J - i$ und l_1 ist. Man kann also schreiben $i = F(J_1 - i_1, l)$ und $i_1 = F(J - i, l_1)$, wo F das Functionszeichen bedeutet. Außerdem ist zu bemerken, dass man dem Strome $J_1 - i_1$ durch Veränderung der elektromotorischen Kräfte der Säulen jeden beliebigen Werth geben kann, während man für $J - i$ einen bestimmten Werth beibehält. Diese beiden Stromstärken können demnach als von einander unabhängig betrachtet werden. Der Widerstand l ist natürlich auch von dem Widerstande l_1 unabhängig. Soll demnach die Summe der beiden Glieder auf der linken Seite der Gleichung stets unveränderlich

bleiben, so muss jedes einer und derselben Constante gleich seyn, und diese Constante ist $= \varepsilon Gw$. Die allgemeinen Ausdrücke für die beiden Inductionsströme werden demnach:

$$li = \varepsilon Gw (J_1 - i_1) \text{ und } l_1 i_1 = \varepsilon Gw (J - i) \quad (5).$$

Auf dieselbe Weise bekommt man aus der Gleichung (2)

$$li_2 = \varepsilon Gw (J_1 + i_3) \text{ und } l_1 i_3 = \varepsilon Gw (J + i_2) \quad (6).$$

Wenn nun in der Gleichung (1) $J_1 = 0$ macht, so wird der Inductionsstrom i_1 allein in seiner Leitungsbahn. Dieses ist demnach der gewöhnliche Inductionsfall, wenn ein Strom J in einem nahe liegenden Leiter inducirt. i_1 ist der primäre Inductionsstrom und i der Inductionsstrom zweiter Ordnung.

Man hat in dem ersten Inductionsfall $li = \varepsilon G (J_1 - i_1)$. Wenn nun J_1 kleiner als i_1 gemacht wird, so ersieht man hieraus, dass i die Richtung verändert. So lange $J_1 > i_1$, geht der Inductionsstrom i in entgegengesetzter Richtung gegen J . Wenn $J_1 = 0$ gemacht wird, bekommen J und i dieselbe Richtung. Die Stromstärke, die in der Leitung B inducirt wird, wenn $J_1 = 0$, ist demnach in Wirklichkeit $J + i$. Die Grösse der Inductionsströme in dem vorliegenden Fall, wenn nämlich $J_1 = 0$ ist, wird demnach ausgedrückt durch:

$$li = \varepsilon Gw i_1 \text{ und } l_1 i_1 = \varepsilon Gw (J + i) \quad (6a).$$

Wenn $J_1 = 0$ in dem zweiten Inductionsfall gemacht wird, so bekommt man auf dieselbe Weise:

$$li_2 = \varepsilon Gw i_3 \text{ und } l_1 i_3 = \varepsilon Gw (J - i_2) \quad (7).$$

Der Inductionsstrom i_1 in der Gleichung (1) geht in entgegengesetzter Richtung gegen J_1 ; der Inductionsstrom i_3 in der Gleichung (2) aber geht in derselben Richtung wie J_1 , und diese Inductionsströme ändern die Richtung nicht, wenn $J_1 = 0$ wird. Die elektrodynamische Wirkung zwischen dem inducirenden Strome J und dem Inductionsstrom i_1 im ersten Falle, sowie auch zwischen J und i_3 in dem anderen Falle hat demnach eine entgegengesetzte Richtung gegen die, worin der Leiter B bei diesen Inductionen geführt worden ist. Die von Lenz

aufgestellte empirische Regel erweist sich demnach in theoretischer Hinsicht als vollkommen richtig.

Die Inductionsströme zweiter Ordnung i_1 und i_2 sind unter gewöhnlichen Verhältnissen im Vergleich zu i_1 und i_3 sehr klein. Wenn man deshalb diese Inductionsströme außer Acht lässt, so bekommt man aus den Gleichungen (6) und (7)

$$l_1 i_1 = \varepsilon G w J \text{ und } l_1 i_3 = \varepsilon G w J \dots \quad (8).$$

Außerdem dass die beiden Inductionsströme dem Obigen gemäß entgegengesetzte Richtung haben, sind sie unter dieser Annahme quantitativ gleich; sie sind der inducirenden Stromstärke J und der Geschwindigkeit w gerade, sowie dem Widerstande l_1 umgekehrt proportional. Wenn die inducirende elektromotorische Kraft e genannt wird, so ist $e = l_1 i_1 = l_1 i_3$. Diese Kraft ist demnach von dem Widerstande in der Leitungsbahn unabhängig. Wenn man die obigen Gleichungen mit dt multipliziert, so bekommt man, weil $w = \frac{dx}{dt}$ ist, als Ausdruck für den ganzen Inductionsstrom, wenn der Leiter B von der einen Stelle nach der anderen gerückt wird:

$$l_1 \int i_1 dt = \varepsilon J \int G dx.$$

Der totale Inductionsstrom, der entsteht, wenn der Leiter B sich von einer Stelle nach einer andern bewegt, ist demnach einzig und allein von der Lage des Leiters bei dem Anfang und dem Ende der Bewegung abhängig, beruht aber nicht auf der Geschwindigkeit und dem Wege, den der Leiter während der Bewegung gegangen ist.

Alle diese Sätze sind durch die Erfahrung bestätigt worden. Deswegenachtet können sie doch nur als approximativ betrachtet werden. Die Uebereinstimmung mit der Erfahrung gründet sich nur darauf, dass die Inductionsströme zweiter Ordnung unter gewöhnlich vorkommenden Verhältnissen so klein sind, dass ihre Wirkungen innerhalb der Gränze der Beobachtungsfehler fallen.

Wenn man aus den Gleichungen (7) i eliminirt, so erhält man:

$$i_1 = \frac{\varepsilon l G w J}{l l_1 - \varepsilon^2 G^2 w^2} \quad \text{und} \quad i_2 = \frac{\varepsilon l G w J}{l l_1 - \varepsilon^2 G^2 w^2} \quad (9).$$

Diese Gleichungen geben die wahren Werthe der Inductionsströme an. Hieraus sieht man, dass die Inductionsströme in den beiden Inductionsfällen unter übrigens gleichen Umständen gleich groß sind; sie sind der inducirenden Stromstärke J proportional; sie sind aber nicht der Geschwindigkeit w gerade und dem Widerstände l_1 umgekehrt proportional. Die inducirete elektromotorische Kraft ist demnach nicht von dem Widerstände des Leiters unabhängig, noch der ganze Inductionsstrom, der entsteht, wenn der Leiter B sich von einer Stelle nach der anderen bewegt, von der Lage des Leiters bei dem Anfang und dem Ende der Bewegung ausschließlich abhängig, sondern derselbe beruht auch auf der Geschwindigkeit, mit der die Bewegung geschieht.

Dieses muss nun um so mehr der Fall seyn, wenn inducirende Ströme durch beide Leitungen A und B gehen. In dem ersten der beiden Inductionsfälle hat man im Allgemeinen:

$$l_1 i_1 = \varepsilon G w (J - i) \quad \text{und} \quad l_1 i = \varepsilon G w (J_1 - i_1).$$

Wenn i eliminirt wird, so erhält man hieraus:

$$i_1 = \frac{\varepsilon G w (l J - \varepsilon G w J_1)}{l l_1 - \varepsilon^2 G^2 w^2}.$$

In dem anderen der beiden Inductionsfälle bekommt man dagegen:

$$l_1 i_2 = \varepsilon G w (J + i_2) \quad \text{und} \quad l_1 i_2 = \varepsilon G w (J_1 + i_2).$$

Wenn man i_2 aus diesen Gleichungen eliminirt, so wird:

$$i_2 = \frac{\varepsilon G w (l J + \varepsilon G w J_1)}{l l_1 - \varepsilon^2 G^2 w^2}.$$

Die beiden Inductionsströme, die durch die Leitung B gehen, sind also in diesem Falle nicht einmal gleich groß. Die inducirete elektromotorische Kraft ist sowohl von l als auch von l_1 abhängig, und die Grösse des inducirten

Stromes, der entsteht, wenn der Leiter *B* von der einen Stelle nach der andern geführt wird, ist von der Geschwindigkeit abhängig, mit der die Bewegung geschieht.

2.

Dem obigen von Lenz aufgestellten Erfahrungssatze über die Richtung der Inductionsströme hat Herr. F. E. Neumann die Annahme hinzugefügt, daß die Stärke des Inductionsstromes in jedem Zeitmoment der Geschwindigkeit des Leiters in demselben Zeitmoment proportional sey, und auf Grund dieser beiden Sätze hat er sein bekanntes Inductionsgesetz aufgestellt, welches folgendermaßen ausgedrückt werden kann¹⁾: Die in einem Elemente des bewegten Leiters inducire elektromotorische Kraft ist gleich einer Constante *E*, multiplizirt mit der Geschwindigkeit des Elements und mit der nach der negativen Richtung der Bewegung zerlegten elektrodynamischen Wirkung des inducirenden Stromes auf das Element, dieses durchströmt gedacht von einem positiven Strome mit der Stärke = 1.

Wenn *s* die Inductionsbahn bezeichnet, *ds* ein Element derselben, und ferner *Eds* die in demselben Element inducire elektromotorische Kraft, *J* die inducirende Stromstärke, *w* die Geschwindigkeit, mit der das Element sich bewegt, und *gds* die nach dieser Bewegungsrichtung zerlegte elektrodynamische Wirkung der inducirenden Bahn auf das inducire Bahnsegment, wenn man sich vorstellt, daß Ströme von der Stärke 1 durch beide Bahnen gehen, so wird Neumann's Inductionsgesetz folgendermaßen ausgedrückt:

$$Eds = - \epsilon gw J ds..$$

Neumann sagt ausdrücklich in seiner Abhandlung S. 2, daß er keine Rücksicht auf die Reaction des Inductionstromes auf den inducirenden genommen habe. Wenn man demnach Neumann's Formel mit der vorstehenden theoretischen Deduction der Inductionsgesetze vergleichen will, muß man folglich von der Gleichung (8) ausgehen, in

1) Abhandl. d. K. Akad. d. Wissensch. zu Berlin 1845.

der die Inductionsströme zweiter Ordnung vernachlässigt worden sind. Durch Differentiation dieser Gleichungen in Bezug auf s erhält man:

$$l_1 \frac{di}{ds} ds = \varepsilon w J \frac{dG}{ds} ds.$$

Nun ist aber $\frac{dG}{ds} = g$. Man bekommt also

$$l_1 \frac{di}{ds} ds = \varepsilon w J g ds.$$

Der Inductionsstrom, der durch die Einwirkung des inducirenden Stromes auf das Element ds entsteht, ist augenscheinlich derselbe $\frac{di}{ds} ds$, und wenn dieser mit dem Widerstande l_1 in der Inductionsahn multiplicirt wird, so bekommt man die in demselben Element inducire elektromotorische Kraft. Nennt man diese Kraft Eds und nimmt man gehörige Rücksicht auf die Richtung des Inductionsstromes, so bekommt man Neumann's Formel wieder.

Diese Formel ist demnach theoretisch richtig, wenn man keine Rücksicht auf die Reaction des Inductionsstromes auf den inducirenden Strom nimmt, oder was dasselbe ist, wenn man die Inductionsströme zweiter Ordnung vernachlässigt. Da nun aber eine solche Reaction immer stattfindet, so kann Neumann's Formel nicht für den wahren mathematischen Ausdruck des Inductionsprocesses angesehen werden.

Den richtigen Ausdruck für die Einwirkung des inducirenden Stromes auf ein Element der Inductionsahn bekommt man dagegen durch Differentiation der Gleichung (9) in Bezug auf s . Wenn $i_0 ds$ den entstehenden Inductionsstrom bezeichnet, und man übrigens dieselben Bezeichnungen wie vorhin beibehält, so bekommt man auf diese Weise:

$$i_0 ds = \frac{\varepsilon g l w J (ll_1 + \varepsilon^2 G^2 w^2)}{(ll_1 - \varepsilon^2 G^2 w^2)^2} \quad \dots \quad (10).$$

Diesselben Anmerkungen, die oben über die Inductionsströme i_1 und i_3 in Veranlassung der Gleichung (9) an-

geführt worden sind, kann man auch hier rücksichtlich des elementaren Inductionsstromes $i_0 ds$ machen.

Die sogenannte Inductionsconstante ε ist gleich dem reciproken Werthe einer Zahl, die das Product ist aus zweimal dem mechanischen Wärmeaequivalent und der Wärmemenge, die in einem Leiter von dem Widerstande Eins, während der Zeiteinheit, erzeugt wird, wenn die Einheit der Stromstärke durch denselben geht.

Stockholm, im September 1875.

**V. Mittheilungen aus dem mineralogischen
Institut der Universität Straßburg.**

(Fortsetzung von Bd. 152, S. 249 ff.)

8. Ueber die Elasticität des Steinsalzes; von P. Groth.
(Aus den Monatsber. d. Berl. Akad. vom Verf. mitgetheilt.)

Während die regulär krystallisirenden Substanzen in Bezug auf die Fortpflanzung des Lichtes isotrop sind, kann es zweifelhaft erscheinen, ob die Geschwindigkeit, mit welcher sich der Schall in denselben fortpflanzt, ebenfalls nach allen Richtungen den gleichen Werth besitze. Vielmehr deutet die von der Richtung abhängige Aenderung der Cohäsion, wie sie sich durch die Spaltbarkeit der Krystalle documentirt, auf eine entsprechende Verschiedenheit des Elasticitätscoefficienten nach verschiedenen Richtungen hin, aus welcher dann eine Differenz der Schallgeschwindigkeit nothwendig folgen würde. Dafs eine kreisförmige Klangscheibe, aus Steinsalz parallel einer Würfelfläche geschnitten, und in der bekannten Weise in Schwingungen versetzt, eine kreisförmige Klangfigur, wie ein amorpher Körper, giebt, beweist nicht die Gleichheit der Schallgeschwindigkeit in allen Radien der Platte,

da sich nach der Symmetrie des Krystals, welche die geometrische und physikalische Gleichwerthigkeit der drei Hauptaxen bedingt, in jener Ebene zwei auf einander senkrechte Radien befinden müssen, in welchen jene Geschwindigkeit gleich ist. Eine solche Klangscheibe kann nicht aufgefaßt werden als aus Stäben bestehend, die den Radien entsprechen, und welche in ihrer Bewegung von einander unabhängig wären.

Hr. Neumann (vergl. die unten citirte Arbeit des Hrn. Voigt) hat nun eine Theorie der Elasticität der regulären Krystalle aufgestellt, der zu Folge der Elasticitätscoëfficient in derselben parallel den drei Hauptaxen gleich große Maxima oder Minima besitzt, und mit der Richtung sich nach einem Gesetz ändert, welches der Symmetrie der Krystalle entspricht, so daß die Elasticitätsfläche symmetrisch ist zu allen geometrischen Symmetrieebenen.

Diese Theorie hat Hr. Voigt (Untersuchung über die Elasticitätsverhältnisse des Steinsalzes, Dissert. L. 1874, d. Ann. Ergbd. VII, 1) einer eingehenden experimentellen Prüfung unterzogen, indem er die elastische Biegung sehr dünner *Steinsalzstäbchen*, nach den verschiedensten Richtungen geschnitten, untersuchte, und bewies, daß in der That jene, *a priori* schon so einleuchtende, Theorie mit der Erfahrung übereinstimmt; er fand, daß der Elasticitätscoëfficient dieser Substanz sey:

in der Normalen zur Hexaëderfläche: 4,17 Millionen Grm.,
 " " " Dodekaëderfläche: 3,40 " "
 " " " Octaëderfläche: 3,18 " "

Unter vielen andern Schwierigkeiten, welche diese außerordentlich mühsame Untersuchung bereitete, fallen besonders auf die eigenthümlichen Verhältnisse des Biegungsrückstandes, welche wohl mit der Eigenschaft des Steinsalzes, welche uns die Untersuchungen des Hrn. Reusch kennen gelehrt haben, zusammenhängen dürften, nämlich der, daß parallel den Flächen des Dodekaëders besonders leicht ein Gleiten der Theilchen stattfindet.

Bei der großen experimentellen Schwierigkeit des von Hrn. Voigt eingeschlagenen Weges dürfte es vielleicht nicht ganz überflüssig erscheinen, die Resultate derselben noch nach einer andern, und zwar sehr einfachen, Methode zu bestätigen. Nach dem Vorschlage meines Collegen Hrn. Warburg's, welcher mich freundlichst durch seinen Rath unterstützte, habe ich mich der von ihm zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in weichen Körpern benutzten Methode (Pogg. Ann. Bd. 136) bedient, welche darin besteht, daß der Stab, dessen Schallgeschwindigkeit bestimmt werden soll, durch einen Steg mit einem größeren (in meinen Versuchen ein Messingstab von 631 Millim. Länge) verbunden, und durch diesen in Transversalschwingungen versetzt wird, indem man den letzteren anstreicht. Durch aufgestreuten Sand wurden die Schwingungsknoten beider erkennbar gemacht, und aus den Abständen dieser auf beiden Stäben und den Dicken ergiebt sich das Verhältniß der Schallgeschwindigkeit in denselben. Hat man nun ein Steinsalzstäbchen von passender Dicke, dessen Oberfläche parallel einer Hexaëderfläche und dessen Längsaxe einer Hauptaxe entspricht, ferner ein zweites, dessen Oberfläche die gleiche, dessen Längsaxe aber 45° mit den beiden Hauptaxen, in deren Ebene sie liegt, bildet, und bestimmt von beiden die relative Schallgeschwindigkeit in Bezug auf jenen Messingstab, so ergiebt sich aus dem Verhältniß der beiden gefundenen Zahlen, da die Schallgeschwindigkeit des Messingstabes eliminiert wird, dasjenige der Schallgeschwindigkeit des Steinsalzes in der Normale zur Würfelfläche zu der in der Normale zur Dodekaëderfläche. Aus diesem folgt aber unmittelbar das Verhältniß der Elasticitätscoefficienten in denselben beiden Richtungen.

Die Bedingung zur Benutzung der von Hrn. Warburg l. c. aufgestellten Formel besteht darin, daß die zu untersuchenden Stäbe dünn genug sind, um mehrere Schwingungsknoten zu zeigen, so daß zwischen der gemessenen schwingenden Abtheilung und dem befestigten Ende noch

wenigstens ein Knoten liegt. Bei den bei meinen Versuchen obwaltenden Verhältnissen ergab sich der Fehler, der durch die Art der Verbindung der einzelnen Theile des tönenden Systems hervorgebracht werden konnte, kaum von der Grösse des wahrscheinlichen Fehlers der Messungsresultate der Länge einer schwingenden Abtheilung, und, da dieser äußerst klein war, auf das Endresultat ohne allen Einfluss.

Die grösste Schwierigkeit lag in der Anfertigung der Steinsalzstäbe in den erforderlichen Dimensionen, etwa $\frac{1}{2}$ Millim. dick, bei einer Länge von 70 bis 80 Millim. Hrn. Steeg in Homburg verdanke ich die Herstellung von vier Stäben, welche den gestellten Bedingungen in ausgezeichneter Weise genügten. Dieselben waren, wie es bei der Beschaffenheit des Steinsalzes nicht anders möglich, durch den beim Schleifen und Poliren ausgeübten Druck schwach doppelbrechend, aber alle, und in ihrer ganzen Ausdehnung, gleichartig, und diese Doppelbrechung ist durch die Versuche nicht geändert worden. Es handelte sich nun hauptsächlich darum, ob der Abstand der Knoten auf denselben bis auf 2 bis 3 Zehntelmillim. und die Dicke auf 0,01 Millim. genau bestimmt werden konnten, denn nur in diesem Falle ist, wie die Rechnung lehrte, durch diese Methode die Frage sicher zu entscheiden, ob der Elasticitätscoefficient in den beiden Richtungen wirklich verschieden, und welches der grösere von beiden ist. Es ergab sich nun, dass die Genauigkeit, welche hierbei erreicht werden kann, eine viel grösere ist, als zu diesem Zwecke genügt. Um dies zu beweisen, sey hier eine vollständige Messungsreihe mitgetheilt:

Länge der schwingenden Abtheilung:

30,0	Millim.
30,2	"
30,2	"
30,1	"
30,2	"
30,1	"
30,1	"
30,2	"
30,0	"
30,1	"
30,1	"
30,1	"

Mittel 30,12 Millim.

Die ersten sechs Messungen wurden angestellt nachdem jedesmal die Figuren von Neuem hervorgebracht worden waren; nach der sechsten Messung wurde der Stab abgenommen und so aufgekittet, daß die vorher oben befindliche Fläche nunmehr unten lag, und alsdann ebenso, wie vorher, sechs Messungen ausgeführt.

Die Bestimmungen der Dicke mit dem Sphärometer ergaben, daß die Stäbe stets ein wenig keilförmig waren; es wurde daher die Dicke an drei Stellen gemessen, am Anfang, Mitte und Ende der gemessenen schwingenden Abtheilung, und alsdann das arithmetische Mittel dieser 3 Zahlen als mittlere Dicke der schwingenden Abtheilung angenommen. So wurden z. B. durch viermaliges Messen an demselben Stabe, von welchem oben die Messungen der schwingenden Abtheilung mitgetheilt wurden, gefunden:

	Dicke.	Mittlere Dicke.
Anfang:	0,538	
Mitte:	0,536	
Ende:	0,528	0,534 Millim.

Anfang:	0,538	0,535	"
Mitte:	0,536		
Ende:	0,532		

Anfang:	0,546	0,535	"
Mitte:	0,530		
Ende:	0,530		

Anfang:	0,542	0,537	"
Mitte:	0,534		
Ende:	0,534		

Aus diesen Messungen ersieht man, daß deren Genauigkeit weit größer ist, als nach den obigen Angaben genügt, den Sinn der Verschiedenheit des Elasticitätscoefficienten nach verschiedenen Richtungen festzustellen, und die Methode somit geeignet ist, für das Verhältniß der Werthe desselben angenäherte Zahlen zu liefern.

Es wurden nun Messungen angestellt:

I) mit zwei Stäben von 0,386, resp. 0,560 Millim. Dicke, die Längsaxe des einen senkrecht zur Würfel-, die des andern senkrecht zur Dodekaëderfläche;

II) mit zwei Stäben mit denselben Längsaxen, welche aber zusammen abgeschliffen waren, und also nur so wenig verschiedene Dicke besaßen, als der Verschiedenheit der Kittschicht, mit welcher sie zum Schleifen aufgeklebt waren, entsprach; die Dicke desjenigen $\perp \infty 0 \infty$ betrug 0,535, des $\perp \infty 0$ 0,504 Millim. Da hier die Reduction auf gleichem Durchmesser auf das Endresultat von sehr geringem Einfluß war, so wurden mit diesen Stäbchen zwei Messungsreihen vorgenommen: II a) Messung der mittlern schwingenden Abtheilung (es entstanden bei der gewählten Tonhöhe auf allen Stäben drei Knoten);

IIb) Messung der Summe der beiden äussern Abtheilungen d. h. des Abstandes des zweiten Knotens vom freien Ende.

Diese Versuchsreihen ergaben nun als *Verhältniss des Elasticitätscoefficienten normal zur Dodekaëderfläche, zu demjenigen in der Normalen zur Würfelfläche* folgende Werthe:

$$\begin{array}{ll} \text{I)} & 1 : 1,25 \\ \text{IIa)} & 1 : 1,18 \\ \text{IIb)} & 1 : 1,15 \\ \text{Mittel:} & \hline 1 : 1,19. \end{array}$$

Hr. Voigt fand für dasselbe Verhältniss in drei Versuchsreihen:

$$\begin{array}{l} 1 : 1,23 \\ 1 : 1,22 \\ 1 : 1,22 \\ \text{Mittel:} \quad \hline 1 : 1,22. \end{array}$$

Eine vollkommenere Bestätigung der Resultate dieses Beobachters, als die obigen, auf einem so abweichenden Wege gefundenen Zahlen sie liefern, dürfte wohl kaum zu erwarten gewesen seyn, und es ist wohl durch diese Uebereinstimmung jeder etwaige Zweifel darüber gehoben, daß in der That in den regulären Krystallen der Elasticitätscoefficient und somit die Schallgeschwindigkeit eine Function der Richtung sey, und daß sich beide in einer, der Neumann'schen Theorie entsprechenden Weise, symmetrisch in Bezug auf die Symmetrieebenen der Krystalle, ändern. Darnach muß in zwei krystallographisch gleichwertigen Richtungen auch Gleichheit des Elasticitätscoefficienten und der Schallgeschwindigkeit stattfinden, und die regulären Krystalle sind somit auch in Bezug auf die Elasticitätsverhältnisse dem allgemeinen Gesetz unterworfen, welches den Zusammenhang der physikalischen und geometrischen Eigenschaften regelt, und welches kurz folgendermaßen ausgedrückt werden kann: *Jede geometrische Symmetrieebene eines Krystalls ist zugleich eine physikalische Symmetrieebene.*

Da das Wesen des Krystals in seiner molecularen Struktur besteht, somit eine aus Quarz geschliffene Kugel durch ihre Gestaltsänderung kein amorpher Körper geworden, sondern immer noch „krystallisirter Quarz“ ist, so erscheint die äußere Gestalt als etwas secundäres, und eine theoretisch richtige Definition eines Krystals, welche ihn von einem amorphen Körper unterscheidet, hätte sich auf die Elasticität, als diejenige Fundamentaleigenschaft, zu gründen, welche die unmittelbarste Wirkung seiner molecularen Struktur ist. Eine solche Definition würde lauten: *Ein Krystall ist ein homogener fester Körper, dessen Elasticität sich mit der Richtung ändert.*

9. Ueber die Krystallform und die Circularpolarisation des kohlensauren Guanidin's; von Dr. C. Bodewig.

Das kohlensaure Guanidin (CH^5N^3) $^2\text{H}^2\text{CO}^3$, nach der Methode von Vollhard, oder nach der neuerdings von Baumann (Chem. Berichte 1874, S. 1766 u. fd.) angegebenen Methode aus Dicyandiamidin dargestellt, krystallisiert in trapez. hemiödr. Formen des *tetragonalen Systems*.

Die gewöhnliche Form ist eine Pyramide, welche dem Oktaëder in der Gestalt sehr nahe steht und nach einem Paar paralleler Flächen tafelförmig ausgebildet ist, wie Fig. 1 zeigt. Seltener ist die Combination Fig. 2

$$P = (111), \ 2P = (221), \ 0P = (001), \ \infty P \infty = (010).$$

Fig. 1.

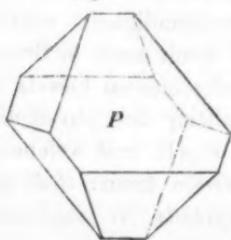
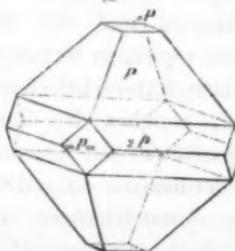


Fig. 2.



Außerdem wurden noch kleine Flächen eines rechten tetragonalen Trapezoëders beobachtet, welche aber so matt waren, daß sie nicht gemessen werden konnten.

Winkeltabelle.

		Beobachtet	Berechnet
* P	Polkantenwinkel	$= 109^\circ 43'$	
"	Seitenkantenwinkel	$= 109^\circ 6$	$108^\circ 59'$
$P: 2P$	"	$= 163^\circ 54$	$164^\circ 2$
$2P$	"	$= 141^\circ 14'$	$140^\circ 54.$

Spaltbarkeit nach OP vollkommen, der optische Charakter ist negativ.

Brechungs-Exponenten.

Zur Bestimmung der Brechungs-Exponenten wurde ein Prisma geschliffen, dessen brechende Kante parallel einer Nebenaxe war, und dessen brechender Winkel $47^\circ 26'$ betrug. Da die Bilder des leuchtenden Spaltes jedoch zu undeutlich für Roth und Grün waren, so wurde das Prisma mit dünnen Glasplättchen belegt und ergab sich nunmehr ein brechender Winkel von $47^\circ 11'$. Um einen Vergleich über die Genauigkeit der Werthe zu besitzen, wurden die Brechungs-Exponenten für Gelb erst mit dem natürlichen Prisma, dann mit dem mit Glasplättchen bedeckten Prisma gemessen.

Gemessene Ablenkung.

Prisma ohne Glasplatten:

Natrium-Gelb $E = 26^\circ 10'$ $O = 26^\circ 48'$

Prisma mit Glasplatten:

Natrium-Gelb $E = 26^\circ 0$ $O = 26^\circ 35$

Lithium-Roth $E = 25^\circ 44$ $O = 26^\circ 20$

Thallium-Grün $E = 26^\circ 13$ $O = 26^\circ 49.$

Hieraus ergeben sich die Brechungs-Exponenten für:

1) Schimmermessung.

Lithium-Roth
 $\varepsilon = 1,4818$
 $\omega = 1,4922$

Natrium-Roth
 $\varepsilon = 1,4864$
 $\omega = 1,4963$

ohne Glasplatte
für Gelb:
 $\varepsilon = 1,4893$
 $\omega = 1,5030.$

Thallium-Grün
 $\varepsilon = 1,4899$
 $\omega = 1,5003.$

Bestimmung der Circularpolarisation.

Die meisten Krystalle sind rechts drehend. Es fand sich in dem gesammten Materiale, etwa 50 Krystallen, welche Hr. Prof. Hoppe-Seyler mir gütigst zur Verfügung stellte, nur ein einziger links drehender. Die Bestimmung der Circularpolarisation war, wegen des schaaligen Aufbaues der Krystalle nach den Pyramidenflächen, nur an wenigen durchführbar. Zu derselben konnten Spaltungsplatten nach der Basis genommen werden, da diese in grösster Vollkommenheit zu erhalten waren.

Linksdrehende Platte. 1,816^{mm} dick.

Li - Roth	Na - Gelb	Th - Grün
22° 50'	26° 0'	31° 20'

daher für 1^{mm}

12° 34'	14° 19'	17° 15'.
---------	---------	----------

Rechtsdrehende Platte. 2,08^{mm} dick.

Li - Roth	Na - Gelb	Th - Grün
26° 15'	30° 54'	35° 9'.

daher für 1^{mm}

12° 37'	14° 51'	16° 54'.
---------	---------	----------

Im Mittel für 1^{mm}

12° 35'	14° 35'	17° 4'.
---------	---------	---------

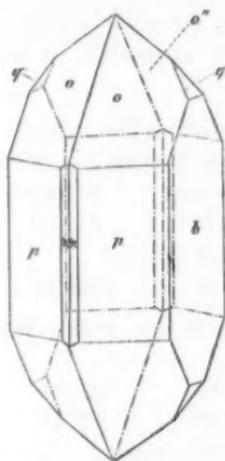
10. Ueber die Krystallform der schwefelsauren und des milchsauren Guanidin's; von Demselben.

Das schwefelsaure Guanidin (CH^5N^3) $^2\text{H}^2\text{SO}^4 + \frac{1}{2}\text{aq}$ krystallisiert in Formen des regulären Systemes und zwar zeigen die Krystalle $\infty 0$ und 0. Dieselben sind einfach brechend und *nicht* circularpolarisirend.

Das milchsaure Guanidin ($\text{CH}^5\text{N}^3\text{C}^3\text{H}^6\text{O}^3$) krystallisiert *rhombisch* mit prismatischer Ausbildung.

Auftretende Formen (Fig. 3):

Fig. 3.



$$o = P = (111), \quad q = 2\check{P} \infty = (021), \quad b = \infty \check{P} \infty = (010)$$

$$p = \infty P = (110), \quad \pi = \infty \check{P}2 = (210)$$

$$a : b : c = 0,7743 : 1 : 0,7301.$$

Winkeltabelle.

Gemessen	Berechnet
$b : p = 127^\circ 43'$	$127^\circ 45'$
$b : q = 145^\circ 25'$	$145^\circ 35'$
$b : o = 118^\circ 0'$	$117^\circ 59'$
* $o : o = 124^\circ 3'$ (1. Polk.)	—

	Gemessen	Berechnet
$o': o$	$105^{\circ} 15'$ (schärf.	$105^{\circ} 26'$
$* o : p$	140 1 Polk.)	—
$o : p^1$	101 9	101 4
$o : q$	138 32	138 36
$q : q$	69 6	69 10
$q : p$	120 11	120 20
$p : p$	104 32	104 30
$p : \pi$	163 29	163 25
$\pi : \pi$	137 19	{ approx. 137 40.

Spaltbarkeit unvollkommen nach $0P$ und $\infty P\infty$. Die Ebene der optischen Axen ist $\infty \bar{P}\infty$. Der optische Charakter der Substanz ist positiv, b ist die erste Mittellinie.

Ein Schliff parallel $\infty P\infty$ ergab für die optischen Axen in Oel folgende Werthe bei 27° C.:

	für Li-Roth	Na-Gelb	Th-Grün
$2H_s =$	$84^{\circ} 28'$	$84^{\circ} 20'$	$84^{\circ} 8'$.

Ein Schliff parallel $0P$:

$2H_s = 108^{\circ} 25'$	$108^{\circ} 29'$	$108^{\circ} 34'$.
--------------------------	-------------------	---------------------

Hieraus ergiebt sich der wahre Winkel der optischen Axen

	für Li-Roth	Na-Gelb	Th-Grün
	$79^{\circ} 18'$	$79^{\circ} 12'$	$79^{\circ} 4'$.

Doppelbrechung sehr stark.

Die Krystalle dieser beiden Substanzen wurden von Hrn. Dr. Baumann dem Verfasser übergeben.

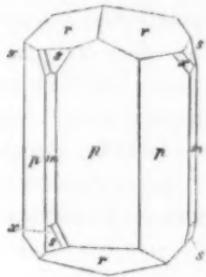
1) Rechte o -Fläche zur linken p -Fläche.

11. Ueber die Circularpolarisation des Matico-Camphers
 $(C_{10}H_{16}O)$;
 von Dr. C. Hintze.

Aus dem aetherischen Oele des in Chili und Peru einheimischen Maticostrauches schießen bei einigen Graden unter 0° C. Krystalle des Stearopters an, farblos und durchsichtig, die oft 2 Cm. Länge bei 5 Mm. Dicke erreichen, und deren Schmelzpunkt bei 103° C. liegt.

Dieselben sind krystallographisch von hohem Interesse, indem sie der trapezoëdrisch-tetartoëdrischen Abtheilung des hexagonalen Systems angehören.

Betrachtet wurden folgende Flächen (s. beistehende Figur).



$$p = \frac{\infty P}{4} = \frac{1}{4}(a : a : \infty a : \infty c) = zx''(0110)$$

$$m = \frac{\infty P_2}{4} = \frac{1}{4}(a : 2a : 2a : \infty c) = zx''(1210)$$

$$r = \frac{P}{4} = \frac{1}{4}(a : a : \infty a : c) = zx''(0111)$$

$$s = r \frac{4P_2}{4} = \frac{1}{4}(a : 2a : 2a : 4c) = zx''(2421)$$

$$x = r \frac{5P_2}{4} = \frac{1}{4}(a : \frac{5}{3}a : \frac{5}{2}a : 5c) = zx''(2531)$$

$$p : r = 122^\circ 18_1.$$

Daraus ergiebt sich das Axenverhältnis:

$$a : c = 3,1641 : 1 = 1 : 0,31605.$$

Winkeltabelle.

Berechnet	Gemessen
$r : r = 124^\circ 52'$	$124^\circ 44'$
$p : r = -$	$122 18$
$s : p = 132 47$	$132 45$
$s : m = 141 39$	-
$x : p = 140 59$	$141 10$
$x : r = 149 54$	$149 45$
$p : p = -$	120
$p : m = -$	$150.$

Die Flächen sind im Allgemeinen ziemlich glänzend, aber gerundet, namentlich die des Trigonoöders s und des Trapezoöders x . Die meisten Krystalle zeigten nur das hexagonale Prisma und das Rhomboöder. Die enantiomorphen Formen wurden nur als rechtsliegend, von dem einzige vorhandenen Rhomboöder ausgehend, gefunden, das trigonale Prisma unter dem Trigonoöder. Das Trapezoöder liegt in einer Zone mit Prisma und Trigonoöder.

Eine deutliche Spaltbarkeit ist nicht vorhanden.

Optisches Verhalten. Die Doppelbrechung ist sehr schwach und negativ. Die Brechungsexponenten für den ordentlichen (o) und den außerordentlichen (e) Strahl wurden gefunden für die

	e	o
Lithium - Linie	= 1,5404	1,5415
Natrium - „	= 1,5436	1,5447
Thallium - „	= 1,5476	1,5488.

Wie alle bis jetzt bekannten trapezoödrisch - tetartoödrisch krystallisirenden Körper ist das Matico-Stearopten circular-polarisirend. Zur Bestimmung der Circularpolarisation wurden zunächst Platten aus den Krystallen geschliffen, welche Trigonoöder- und Trapezoöderflächen besaßen. Dieselben erwiesen sich nicht als homogen, indem sich rechts- und linksdrehende Lamellen zeigten, die Hauptmasse und namentlich unmittelbar an den Trapezoöderflächen, war rechtsdrehend. Eine regelmässige Zwillingssverwachsung von rechten und linken Individuen, wie

beim Quarz, ließ sich nicht nachweisen, da die scheinbaren Individuen Aggregate waren, mit nicht streng parallelen Hauptaxen, was zur Folge hatte, daß bei gekreuzten Nicols die Platten beim Drehen an verschiedenen Stellen wechselnde Farbe und Intensität zeigten. Die andern Krystalle, welche nur Prisma und Rhomboëder zeigten, waren ebenso zusammengesetzt.

Nach dem Umkristallisiren fand sich die nicht selten gemachte Erfahrung bestätigt, daß, je reiner der Stoff, um so einfachere Formen auftreten. Kein einziger Krystall zeigte enantiomorphe Formen, sondern nur das hexagonale Prisma und das Rhomboëder. Alle Krystalle, die ihrer Beschaffenheit nach das Schleifen gestatteten, 15 an der Zahl, erwiesen sich als homogen und linksdrehend. Der Winkel der Drehung wurde an den beiden besten Platten, nachdem ihre Dicke mit dem Sphärometer bestimmt war, gemessen, und ergab:

I. Platte.

für 3,855 Mm.,	also für 1 Mm.
roth	6° 24'
gelb	7 54
grün	9 28

II. Platte.

für 2,465 Mm.,	also für 1 Mm.
roth	4° 10'
gelb	5 11
grün	6 8

im Mittel also für 1 Mm.

roth (Lithium - Linie) = 1° 41'

gelb (Natrium - „) = 2 4

grün (Thallium- „) = 2 28.

Hr. Prof. Flückiger, dem ich das ganze Material von Krystallen verdanke, prüfte auch die Lösung derselben auf Circularpolarisation; und fand bei concentrirten Lösungen im Wild'schen Strobometer eine schwache, einmal rechts, einmal nach links gerichtete Drehung, so daß es scheint, als ob dieselbe nur durch beigemischte Theilchen des Oeles, aus dem der Campher krystallisirte, hervorgebracht werde, die Lösung des Camphers aber ganz der Drehung entbehre.

VI. *Die Reibungsconstanten einiger Salzlösungen und ihre Beziehungen zum galvanischen Leistungsvermögen; von O. Grotian.*

Seitdem es gelungen ist, unter Anwendung alternirender Inductionsströme und hinreichend grosser platinirter Platinalektroden das galvanische Leistungsvermögen der Elektrolyte unter vollständigem Ausschluß der Polarisation zu bestimmen¹⁾, liegt es nahe, den Grund der eigenthümlichen Aenderungen, welche das Leistungsvermögen einer Lösung durch Temperatur und Concentration erleidet, näher zu untersuchen; denn es ist von höchstem Interesse, weitere Aufschlüsse zu gewinnen über die Natur der Vorgänge, die beim Durchgange von Strömen durch zersetzbare Flüssigkeiten stattfinden.

Die dabei vom Strome geleistete Arbeit ist möglicher Weise sehr verschiedenartiger Natur. Zu der Ueberführung der Ionen kann die Ueberwindung des Widerstandes kommen, den die Flüssigkeit einer Fortbewegung ihrer eigenen Theilchen entgegenseetzt. Dieser Widerstand, den man als „innere Reibung, Zähigkeit, Zähflüssigkeit, Viscosität“ bezeichnet, spielt höchst wahrscheinlich eine wesentliche Rolle bei der Elektricitätsleitung durch Elektrolyte. Es ist dies eine Annahme, wie sie von Hankel, Beetz, Wiedemann²⁾ gemacht ist. Zur Prüfung ihrer Richtigkeit liegen Versuche von Wiedemann³⁾ vor, durch welche für verdünnte Lösungen von schwefelsaurem Kupferoxyd, salpetersaurem Kupferoxyd, salpetersaurem Silberoxyd, Kali, salpetersaurem Ammoniak sowie für verdünnte Schwefelsäure nachgewiesen ist, daß man das galvanische

1) Diese Ann. Bd. 154, S. 6.

2) Hankel, diese Ann. Bd. 69, S. 263; Beetz, diese Ann. Bd. 117, S. 17; Wiedemann, diese Ann. Bd. 99, S. 229.

3) L. e.

Leitungsvermögen durch einen mit einer Constante multiplirten Quotienten darstellen kann, der zum Zähler den Procentgehalt, zum Nenner die Reibungconstanten hat.

Dieser Ausdruck gestattet indessen *vorläufig* keine endgültigen Schlüsse über den Einfluß der inneren Reibung auf das Leitungsvermögen; denn ändert sich die Concentration einer Flüssigkeit, so braucht dadurch nicht allein die Zahl der den Strom leitenden Moleküle sowie die Zähigkeit geändert zu werden, sondern es können außerdem Änderungen in der chemischen Constitution der Flüssigkeit eintreten, deren Einfluß auf das galvanische Leitungsvermögen *a priori* nicht übersehen werden kann. Das von Wiedemann als Function des Procentgehaltes und der inneren Reibung dargestellte Leitungsvermögen kann also in Wirklichkeit Function von noch andern Eigenschaften der Flüssigkeit seyn, so daß die gefundene Beziehung zwischen Leitungsvermögen, Procentgehalt und innerer Reibung zunächst nur als eine empirische anzusehen ist. Der Zusammenhang derselben mit den durch den Strom übergeführten Flüssigkeitsmengen, wie ihn Wiedemann findet, soll selbstverständlich hiermit nicht im Entferntesten in Zweifel gezogen werden.

Einfacher gestaltet sich die Sache, wenn man nach den Änderungen fragt, welche das galvanische Leitungsvermögen und die Reibungconstanten durch die Temperatur erfährt. Allerdings können durch die Temperatur außer der Zähigkeit noch andere Eigenschaften einer Flüssigkeit geändert werden, von denen die Größe des Leitungsvermögens abhängt. Ist nun auch über die Änderung dieser Eigenschaften durch die Temperatur Nichts bekannt, so wird doch *a posteriori* auf einen wesentlichen Einfluß der inneren Reibung auf die elektrolytischen Vorgänge geschlossen werden müssen, wenn sich durch Versuche ergiebt, daß die Änderung des Leitungsvermögens mit der Temperatur die größte Ähnlichkeit mit der Änderung der Reibungsconstanten durch die Temperatur besitzt.

Dieses für verschiedene Flüssigkeiten darzuthun, ist Zweck der vorliegenden Abhandlung. Gleichzeitig haben die Versuche auf einfache Beziehungen zwischen galvanischem Leistungsvermögen, Procentgehalt und Reibungs-constante geführt, die an sich als empirische zu betrachten sind, die aber durch die gleichzeitige Kenntniß von der Aenderung der Reibungsconstante durch die Temperatur zu bemerkenswerthen Schlüssen führen.

Die Grösse der Reibungsconstanten in absoluten Einheiten zu ermitteln, ist ebenfalls versucht; doch können die gefundenen Zahlen in dieser Beziehung eine Genauigkeit, wie sie etwa von O. E. Meyer erreicht ist, nicht beanspruchen.

Das Beobachtungsverfahren.

Die Beobachtungsmethode ist diejenige, welche zuerst von Coulomb¹⁾ angewandt wurde. Dieser befestigte eine dünne kreisylindrische Scheibe derartig an einem vertical hängenden elastischen Draht, so dass dieser die Fortsetzung der Cylinderaxe bildet; die horizontal hängende Scheibe muss demnach in Folge der Torsionselastizität Schwingungen um ihre Ruhelage ausführen, sobald sie aus dieser durch eine Drehung um ihre Axe entfernt und sich selbst überlassen wird.

Lässt man den Apparat Schwingungen ausführen, indem die Scheibe einmal sich in der umgebenden Luft befindet, dann in eine Flüssigkeit eingetaucht ist, und bestimmt in beiden Fällen das logarithmische Decrement, so giebt die Differenz derselben in Verbindung mit dem specifischen Gewicht der Flüssigkeit ein Maass für die Reibungsconstante. Will man dieselbe in absoluten Einheiten erhalten, so muss die Schwingungsdauer und das Trägheitsmoment des Apparates, bezogen auf die Schwingungsaxe, sowie Radius und Dicke der Scheibe bekannt seyn.

1) *Mémoires de l'institut national*, T. 3, p. 246.

Die Coulomb'schen Versuche in ihrer Anwendung auf tropfbare Flüssigkeiten sind neuerdings von Moritz¹⁾ wiederholt, dann aber namentlich von O. E. Meyer²⁾ zum Gegenstande einer ausgedehnten experimentellen und theoretischen Arbeit gemacht. Erstere enthält die Reibungsconstanten von Wasser und einer Anzahl Lösungen von Kalialaun, schwefelsaurem Natron, schwefelsaurem Kali, salpetersaurem Natron und salpetersaurem Kali, letztere entwickelt die ziemlich complicirte Theorie der Versuche.

Der zu meinen Beobachtungen benutzte Apparat ist von Hrn. Mechanikus Weingarten in Darmstadt angefertigt. Fig. 1 und 1a Taf. III stellen zwei Ansichten desselben in $\frac{2}{3}$ natürlicher Größe dar, die durch Projection auf zwei zu einander senkrechte verticale Bildflächen entstehen. Der ganze Apparat ist an einem dünnen Messingdraht **DD** aufgehängt, der zwischen zwei Messingplatten **pp** durch Anziehen der Schrauben **ss** eingeklemmt ist. Die eine dieser Messingplatten ist unten mit zwei Zapfen **zz** versehen, welche in einen doppelten **Y**-Haken **y**, passen. Dieser ist an einem horizontalen Messingstreifen **m₁m₁** befestigt, an dessen Enden sich zwei **Y**-Lager **y₁y₂** ansetzen. Unten sind dieselben durch einen **m₁m₁** gleichen Messingstreifen **m₂m₂** verbunden; sie dienen zur Aufnahme eines cylindrischen Magnetstabes **NS** von 8 Mm. Durchmesser und 100 Mm. Länge. An den Stellen, in welchen derselbe die Lager berührt, sind zwei ringförmige Nuthen **nn** eingeschnitten, durch welche die unveränderte Lage des Magnets gesichert wird. In der Mitte des Messingstückes **m₂m₂** setzt sich ein cylindrisches Messingstück **m₃** an; dasselbe trägt unten zwei horizontale Zapfen **z₁z₁**, welche dazu dienen, den mittleren Theil des Apparates zu tragen. Dieses geschieht durch den doppelten **Y**-Haken **y₃**, welcher mit dem Messingcylinder

1) Diese Ann. Bd. 70, S. 74.

2) Diese Ann. Bd. 113, S. 55, 193, 383. Crelle's Journal Bd. 59, S. 229.

$m_4 m_4$ fest verschraubt ist. Unten ist in ganz derselben Weise ein zweiter gleicher Doppelhaken y_4 befestigt in einer gegen y_3 um 90° gedrehten Stellung. An dem Cylinder $m_4 m_4$ ist der Spiegel G verschiebbar befestigt, dessen spiegelnde Fläche in Fig. 1 Taf. III dem Auge zugewandt gezeichnet ist. G sitzt an einem Hohlcylinder h aus dünnem Messingblech, dessen innerer Durchmesser dem des Cylinders $m_4 m_4$ gleich ist. Derselbe besitzt vier Einschnitte ee und federt mit seiner Innenfläche gegen die Oberfläche des Cylinders $m_4 m_4$, so daß er auf diesem mit einiger Reibung verschoben und gedreht werden kann.

Unter dem Spiegel befindet sich ebenfalls auf $m_4 m_4$ verschiebbares und drehbares Messingstück h_1 (Fig. 1b zeigt dasselbe von oben gesehen), welches durch eine Schraube k an beliebiger Stelle festgeklemmt werden kann. An h_1 setzen sich unter rechtem Winkel zwei Messing-schrauben ss an, auf denen die cylindrischen Messingstücke gg sich mittelst ihres Gewindes verschieben lassen.

Der Doppelhaken y_4 ist zur Aufnahme des dritten Theiles bestimmt. Dieser besteht aus einer dünnen cylindrischen Kupfer- resp. Messing-Scheibe rr (es wurden deren zwei benutzt), in welche ein cylindrischer Stab cc aus gleichem Metall fest eingeschraubt ist. Letzterer trägt oben einen kleinen Cylinder c_1 und an dessen Enden zwei Zapfen $z_2 z_3$, welche in den Doppelhaken y_4 eingelagert werden.

Beide Scheiben sind galvanisch versilbert und besitzen einen Durchmesser von etwa 60 und 120 Mm.

Der dünne etwa 1,7 Meter lange Messingdraht DD , an welchem der ganze Apparat hängt, ist mit seinem oberen Ende gerade so wie mit dem untern zwischen zwei Platten $p_1 p_1$ eingeklemmt. Diese liegen mit ihrem Zapfen $z_3 z_3$ in einem Doppelhaken y_5 , der durch den Messingcylinder m_5 in der Mitte einer horizontalen kreisförmigen Holzscheibe befestigt ist. Es kann dieselbe als

Torsio
ticale
belieb
einem
Gebäu

Ve
Torsi
Schwi
durch
gesche
da di
nets
Zahl

De
tung
Diese
vom
halb
durch
leren
eine
trische
des g

De
Gehä
dem
gelgl
geset
zwei
nung

De
folge
daue
Es v
die Z
1) S

selben
igt in
dem
festigt,
e zu-
der h
hesser
t vier
gegen
iesem
erden

$m_4 m_4$
g. 1b
eine
kann.
ssing-
ssing-
essen.
ritten
n cy-
urden
ab cc
zterer
Enden
einge-
sitzten

DD,
einem
n zwei
Zap-
Mes-
eisför-
oe als

Torsionsvorrichtung benutzt werden, da sie um eine verticale Axe drehbar ist und sich durch eine Schraube in beliebiger Stellung festklemmen lässt. Ihre Axe sitzt an einem soliden Wandstativ, welches mit einer Wand des Gebäudes durch eingegypste Schrauben verbunden ist.

Vermöge der Directionskraft des Magnets NS und der Torsionselastizität des Aufhängedrahtes führt der Apparat Schwingungen um seine Ruhelage aus, sobald er aus dieser durch eine äußere Kraft entfernt ist. Die Schwingungen geschehen hauptsächlich durch die Wirkung des Magnets, da die Directionskraft des Drahtes gegen die des Magnets klein ist. Das Torsionsverhältnis¹⁾ ist durch die Zahl 0,09 gegeben.

Der Spiegel G dient in bekannter Weise zur Beobachtung der Schwingungen mittelst Fernrohr und Scala. Diese befindet sich in einem Abstande von etwa 1,6 Meter vom Spiegel. Der verschiebbare Messingtheil h , ist deshalb angebracht, damit durch Drehung desselben sowie durch Verschiebung der Gegengewichte gg der am mittleren Theil des Apparates befindliche Doppelhaken y , in eine solche Lage gebracht werden kann, daß die geometrische Axe der Kreisscheibe rr mit der Schwingungsaxe des ganzen Apparates zusammenfällt.

Dieser ist gegen Luftströmungen durch ein cylindrisches Gehäuse aus starkem Papp geschützt, in welches an der dem Spiegel entsprechenden Stelle eine Platte guten Spiegelglases statt des herausgeschnittenen Pappstückes eingesetzt ist. An der oberen Seite kann das Gehäuse durch zwei gut anliegende Holzplatten bis auf eine kleine Oeffnung für den Draht DD geschlossen werden.

Die Beobachtungen mit dem Apparat geschahen in folgender Weise. Zuerst bestimmte man die Schwingungsdauer, ohne daß die Scheibe in eine Flüssigkeit eintauchte. Es wurden dabei nach der bekannten Methode von Gauß die Zeitpunkte für sechs auf einander folgende Durchgänge

1) S. Kohlrausch, Leitfaden der praktischen Physik, S. 127.

des Apparates durch die Ruhelage bestimmt und jedesmal vier derartige Beobachtungsreihen ermittelt. Auf diese Weise erhielt man zwei Werthe für die Schwingungsdauer, deren Uebereinstimmung eine Controle für ein etwaiges falsches Ablesen der Minuten an der Uhr abgab.

Hierauf bestimmte man das logarithmische Decrement des Apparates zuerst ohne Flüssigkeit, dann während die Scheibe mitten in der zu untersuchenden Flüssigkeit hing; diese befand sich bei Anwendung der kleineren Scheibe in einem cylindrischen Glasgefäß von 10 Centimeter innerem Durchmesser. Die verschiedenen Flüssigkeiten wurden, sofern es deren vorhandene Menge erlaubte, bis zu möglichst gleicher Höhe, etwa 5 Centimeter über dem Boden, eingefüllt. Für Entfernung von Luftbläschen, die sich beim ersten Eintauchen der Scheibe an diese ansetzten, wurde Sorge getragen, auch nach der Beobachtung auf ein etwaiges Auftreten derselben geachtet, was übrigens nur in wenigen Fällen stattfand. War die Ansammlung derartig, daß sich ein Einfluß auf die Größe des logarithmischen Decrementes erwarten ließ, so wurde die Beobachtung wiederholt.

Bei der Bestimmung des Decrementes wurde der Apparat zuerst in Schwingungen von erheblicher Weite durch Annäherung eines Magnets versetzt. Nachdem die Amplitude auf etwa 400 Scalentheile, d. h. $7^{\circ},0$, gesunken war, bestimmte man die Umkehrpunkte und beobachtete deren etwa 12 bis 16 auf einander folgende, sofern die Schwingungen nicht so rasch abnahmen, daß man sich mit einer kleineren Anzahl begnügen müßte. Derartige Reihen von Umkehrpunkten wurden sowohl für Luft wie für die Flüssigkeit in meist dreifacher Anzahl bestimmt, die indessen bei den zäheren Flüssigkeiten mit großem logarithmischen Decrement entsprechend vermehrt wurde.

Die Temperatur der Flüssigkeit wurde vor und nach der Beobachtung an einem in ganze Grade getheilten Thermometer abgelesen. Dasselbe war calibrirt und hin-

sichtlich der Lage des Eis- und Siedepunktes untersucht.

Berechnung der Reibungsconstanten.

Zur Berechnung der logarithmischen Decrementa bestimmte man aus den beobachteten Umkehrpunkten die Amplituden jeder Schwingung, wobei diese mit der bekannten Correction von der Tangente auf den Bogen versenzen wurden. Die folgende Tabelle enthält in der ersten Columnne die direct beobachteten Umkehrpunkte, in der zweiten die auf Bogenmaß corrigirten Amplituden. Die Beobachtungsreihe bezieht sich auf eine 23,86 procentige Kochsalzlösung.

Umkehrpunkt	Amplitude	Log. Deer.
648,0	266,6	
380,7	235,6	0,05368
616,8	208,5	
408,0	183,8	0,05476
592,0	162,3	
429,5	143,4	0,05377
573,0	126,8	
446,2	112,1	0,05411
558,3	99,2	
459,1	87,9	0,05252
547,0	77,7	
469,3	68,7	0,05346
538,0	60,7	
477,3	53,7	0,05322
531,0		
Mittel = 0,053646		

Das logarithmische Decrement ist bekanntlich der Logarithmus des „Dämpfungsverhältnisses“, d. h. des Quotienten irgend einer Amplitude dividirt durch die folgende. Die dritte Columnne obiger Tabelle giebt das logarithmische Decrement in Brigg'schen Logarithmen, berechnet aus den beiden Amplituden, zwischen welchen dasselbe steht. Das Mittel aus sämmtlichen Decrementen 0,053646 ist indessen nicht als der genaueste Werth anzusehen, der sich aus jener Beobachtungsreihe berechnen lässt. Ist $2m$ die Anzahl der gegebenen Amplituden, so verfährt man besser derartig, daß man aus der 1^{ten} und m^{ten} , 2^{ten} und $m+1^{\text{ten}}$. . . m^{ten} und $2m^{\text{ten}}$ Amplitude die mit m multiplizirten Decemente berechnet, aus diesem das Mittel nimmt und dasselbe durch m dividirt. Auf diese Weise berechnet sich aus obiger Tabelle das Decrement zu 0,053487. Dort sind die Decemente auf zwei direct auf einander folgende Amplituden angegeben, um ihre Constanze zu zeigen.

Dem vielfachen zeitraubenden Aufschlagen und Niederschreiben der Logarithmen suchte ich dadurch zu entgehen, daß ich statt der zuletzt angegebenen Rechenmethode ein abgekürztes Verfahren zur Berechnung des Decrementes anwandte, dafür aber statt einer Reihe von Umkehrpunkten, wie Anfangs beabsichtigt wurde, deren mehr, im Allgemeinen drei, bestimmte.

Bei diesem Verfahren theilt man die Reihe der Amplituden, deren Anzahl $2m$ sey, in zwei gleich große Gruppen von m Amplituden. Bildet man dann die Summe jeder Gruppe und dividirt die erste durch die zweite, so erhält man das Dämpfungsverhältnis erhoben zur m^{ten} Potenz. Der Logarithmus dieser Zahl dividirt durch m giebt das logarithmische Decrement. Das Verfahren ist nahezu dasselbe, wie wenn man die m^{te} Potenz des Dämpfungsverhältnisses aus der ersten und der $m+1^{\text{ten}}$, 2^{ten} und $m+2^{\text{ten}}$. . . m^{ten} und $2m^{\text{ten}}$ Amplitude berechnet, aus sämmtlichen Werthen das Mittel nimmt und dessen Logarithmus durch m dividirt¹⁾. Nach dieser Methode er-

1) Bezeichnet man durch $a_1 a_2 \dots a_{2m}$ die Amplituden, durch k das Dämpfungsverhältnis, so stimmen beide Methoden nahezu überein,

gibt sich aus den Zahlen der letzten Tabelle für das Decrement der Werth 0,053526.

Die direct bestimmten Schwingungsdauern wurden auf solche von unendlich kleiner Amplitude reducirt. Die dabei anzubringende Correction ist sehr gering, sie trifft erst die vierte Decimale, die ohnehin unsicher ist.

wenn die m^{ten} Potenzen der einzelnen Dämpfungsverhältnisse $\frac{a_1}{a_{m+2}}$

$\frac{a_2}{a_{m+2}} \dots \frac{a_m}{a_{2m}}$ nur wenig von ihrem arithmetischen Mittel

$$k^m = \frac{1}{m} \left(\frac{a_1}{a_{m+1}} + \frac{a_2}{a_{m+2}} + \dots + \frac{a_m}{a_{2m}} \right)$$

abweichen. Setzt man demnach

$$\frac{a_1}{a_{m+1}} = k^m + \alpha_1$$

$$\frac{a_2}{a_{m+2}} = k^m + \alpha_2$$

⋮

$$\frac{a_m}{a_{2m}} = k^m + \alpha_m$$

wobei $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$ kleine positive und negative Größen bezeichnen, so ist

$$(1) \quad \alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_m = 0$$

$$(2) \quad \left\{ \begin{array}{l} a_{m+1} = \frac{a_1}{k^m + \alpha_1} = \frac{a_1 - \alpha_1}{k^m} \\ a_{m+2} = \frac{a_2}{k^m + \alpha_2} = \frac{a_2 - \alpha_2}{k^m} \\ \vdots \\ a_{2m} = \frac{a_m}{k^m + \alpha_m} = \frac{a_m - \alpha_m}{k^m} \end{array} \right\} \text{genähert.}$$

Die von mir angewandte Methode setzt die m^{te} Potenz des Dämpfungsverhältnisses gleich

$$\frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_m}{a_{m+1} + a_{m+2} + \dots + a_{2m}}.$$

Dieser Ausdruck kann nach (2) auch folgendermaßen geschrieben werden

$$\frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_m}{\frac{a_1 + a_2 + \dots + a_m}{k^m}} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_m}{k^m}$$

und liefert endlich mit Rücksicht auf (1) k^m .

Bei der Berechnung der Reibungsconstante ist eigentlich ein Apparat vorausgesetzt, welcher unter dem Einflusse einer Directionskraft schwingt, die dem Ablenkungswinkel aus der Ruhelage proportional ist. O. E. Meyer benutzte daher für die Aufhängung einen Draht von 2',5 (Par.) Länge und 0",2 (Par.) Dicke, durch dessen Torsionselasticität sein Apparat einfache Sinusschwingungen ausführte.

Der von mir angewandte unter dem Einflusse der magnetischen Directionskraft schwingende Apparat würde daher streng genommen den Voraussetzungen der Theorie nicht entsprechen. Da indessen nur kleine Amplituden, die den Werth 8° nicht erreichten, also kleinere Ausschläge als 4° beobachtet wurden, für welche der Sinus von seinem Winkel kaum abweicht, so habe ich mir erlaubt, aus den beobachteten Werthen die Reibungsconstante nach der von O. E. Meyer gegebenen Formel zu berechnen. Ich glaube dies um so eher thun zu dürfen, als meine Zahlen angenähert einer Gleichung genügen, welche die Theorie aufstellt. Bezeichnen nämlich λ_0 und T_0 das natürliche logarithmische Decrement und die Schwingungsdauer für Luft, λ_1 und T_1 die entsprechenden Größen, wenn die Scheibe in eine Flüssigkeit eingetaucht ist, so soll

$$\frac{\lambda_1 - \lambda_0}{\pi} = \frac{T_1 - T_0}{T_0}$$

seyn.

Für einige Flüssigkeiten habe ich diese Größen ermittelt und führe dieselben in der folgenden Tabelle in der sechsten und siebenten Columne an. Die entsprechenden Flüssigkeiten, deren Temperatur und Concentration übrigens verschieden war, sowie die Werthe von T_1 und T_0 sind in der ersten, vierten und fünften Columne enthalten; ϵ_1 und ϵ_0 bezeichnen die Decrementa in Brigg'schen Logarithmen für Luft und Flüssigkeit.

	ε_1	ε_0	T_1	T_0	$\frac{\lambda_1 - \lambda_0}{\pi}$	$\frac{T_1 - T_0}{T_0}$	
Wasser	0,0380	0,0012	6,32	6,144	0,0270	0,0286	- 16
"	377	14	6,30	6,153	266	239	+ 27
"	370	10	5,86	5,672	264	331	- 67
Chlornatrium	486	09	6,34	6,139	350	327	+ 23
"	535	09	6,33	6,158	386	279	+ 106
Zinkvitriol	481	08	6,36	6,149	347	343	+ 4
Chlorealcium	768	11	6,41	6,142	555	436	+ 119
"	0,1425	10	6,85	6,165	0,1037	0,1111	- 74

Die mit 10^4 multiplizierten Differenzen zwischen den Zahlen der sechsten und siebenten Columnne (s. achte Columnne) sind allerdings erheblich, erklären sich indessen aus der Schwierigkeit, T_1 mit einiger Genauigkeit zu bestimmen. Die von O. E. Meyer für Wasser und verschiedene Salzlösungen angegebenen Zahlen $\frac{\lambda_1 - \lambda_0}{\pi}$ und $\frac{T_1 - T_0}{T_0}$ zeigen Abweichungen von derselben Gröfse¹).

Zur Berechnung der Reibungsconstante gibt die Theorie folgende Formel²):

$$\eta = \frac{8 M^3}{\pi \varrho T_0 (R^4 + 2 R^3 \delta)^2} \left[\frac{\lambda_1 - \lambda_0}{\pi} + \left(\frac{\lambda_1 - \lambda_0}{\pi} \right)^2 + \frac{5}{4} \left(\frac{\lambda_1 - \lambda_0}{\pi} \right)^3 + \frac{9}{4} \left(\frac{\lambda_1 - \lambda_0}{\pi} \right)^4 + \dots \right].$$

In derselben bedeutet:

λ_1 das natürliche logarithmische Decrement für die Flüssigkeit,

λ_0 dasselbe für Luft,

T_0 die Schwingungsdauer für Luft,

M das Trägheitsmoment des Apparates, bezogen auf die Schwingungsaxe,

R und δ Radius und Dicke der Scheibe,

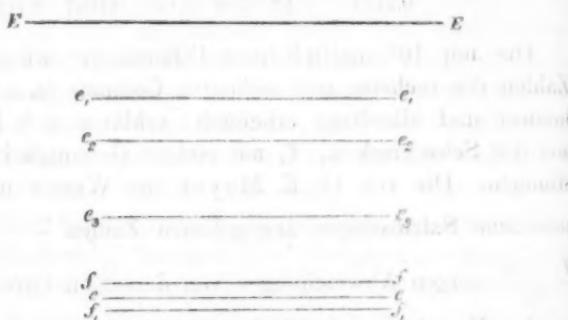
ϱ die Dichtigkeit der Flüssigkeit.

Die Reibungsconstante η lässt sich folgendermaßen definiren.

1) Diese Ann. Bd. 113, S. 225.

2) L. c. S. 399.

Die Theilchen einer Flüssigkeit mögen sich in geradlinigen Bahnen parallel zu einer Ebene EE so bewegen, daß alle Theilchen in einer zu EE parallelen Ebene $e_1e_1, e_2e_2 \dots ee$ gleiche Geschwindigkeit besitzen, die sich indessen mit dem Normalabstande dieser Ebenen von EE stetig ändern soll. Betrachtet man nun zwei unendlich



dünne Flüssigkeitslamellen $ffee$ und f_1f_1ee zu beiden Seiten von ee , so kann innerhalb jeder Lamelle die Geschwindigkeit als constant angesehen werden. Es bezeichne v die Geschwindigkeit der Theilchen in der Schicht $ffee$, x deren Normalabstand von EE , während $v + dv$, $x + dx$ die entsprechenden Größen für f_1f_1ee bedeuten. Es wirkt dann in Folge der inneren Reibung eine bewegende Kraft auf die Flächeneinheit jeder Schicht von der Größe $\eta \frac{dv}{dx}$, durch welche die Geschwindigkeit der schnelleren Schicht vermindert, die der langsameren vermehrt wird. Man nennt die nur von der Beschaffenheit der Flüssigkeit abhängige Größe η die „Reibungsconstante“ derselben¹⁾.

Das Trägheitsmoment M ist folgendermaßen ermittelt. Zunächst wurde die Schwingungsdauer des Apparates bestimmt und dann ein sorgfältig abgedrehter ringförmig

1) Ausführlicheres über deren Definition siehe diese Annalen Bd. 113, S. 67 bis 71.

ger Hohleylinder von Messing auf die Scheibe gelegt. Da derselbe an Gröfse der kleinen Scheibe fast genau gleich ist, so war eine Centrirung desselben leicht herbeizuführen. Bei der grofsen Scheibe wurde dieses dadurch ermöglicht, daß man mittelst eines Cirkels eine Anzahl von Punkten eines concentrischen Kreises angegeben hatte, dessen Durchmesser nahe dem innern Durchmesser des Ringes gleich ist.

Es wurde sodann die Schwingungsdauer des Apparates bei aufgelegtem Ringe bestimmt, dann wieder die Schwingungsdauer ohne Ring ermittelt und in dieser Weise viermal verfahren, wobei jedesmal der Ring um etwa 90° gedreht wurde.

Bezeichnet r den inneren, R den äuferen Radius des Ringes, m seine Masse, so ist sein Trägheitsmoment

$$k = m \cdot \frac{r^2 + R^2}{2}$$

bezogen auf die geometrische Axe des ringförmigen Hohleylinders. Die Radien r und R sind durch Messung mittelst eines Kathetometers bestimmt, dessen Nonius $\frac{1}{20}$ Mm. abzulösen gestattet. Als Mittel von je acht Messungen an verschiedenen Stellen und Seiten des Ringes ergab sich

$$2R = 60^{\text{mm}},094$$

$$2r = 46^{\text{mm}},396.$$

Die größte Abweichung der einzelnen Messungen von einander beträgt $0^{\text{mm}},13$. Für die Ringdicke ($= 7^{\text{mm}},183$) ist dieselbe etwa eben so groß. Der Ring wiegt

$$69^{\text{gr}},4798.$$

Hiernach berechnet sich

$$k = 500,59 \text{ Gr. Cm}^2.$$

Die Schwingungsdauern t_0 und t_1 des Apparates ohne und mit Ring sind in der folgenden Tabelle in der ersten und zweiten Columnne angegeben. Die dritte enthält das Trägheitsmoment M des ganzen Apparates berechnet nach der Formel

$$M = k \frac{t_0^3}{t_1^3 - t_0^3},$$

wenn derselbe mit der kleinen Scheibe versehen ist.

t_0	t_1	$k \frac{t_1^3 - t_0^3}{t_0^3}$
6,1662	8,1487	670,68
6,1686	8,1500	671,40
<hr/>		
6,1555	8,1298	672,52
6,1565	8,1335	671,60

Als Mittel aus den Zahlen der dritten Columnne berechnet sich für das Trägheitsmoment der Werth

$$671,55 \text{ Gr. Cm}^2.$$

Hing die grosse Scheibe an dem Apparat, so ergaben sich die Zahlen der folgenden Tabelle.

t_0	t_1	$k \frac{t_0^3}{t_1^3 - t_0^3}$
17,6012		
(17,6028)	18,3981	5417,7
17,6045		
(17,6037)	18,4000	5410,6
17,6030		
<hr/>		
17,5929		
(17,5952)	18,3975	5367,1
17,5976		
(17,6018)	18,3989	5404,8
17,6060		

Die unter t_0 in Klammern stehenden Zahlen sind die Mittel aus der darunter und darüber stehenden Zahl und wurden mit den t_1 in derselben Horizontalsreihe zur Berechnung des Trägheitsmomentes verwandt. Bei dieser Art zu rechnen wird die Aenderung des magnetischen Momentes

mit der Zeit eliminiert. Bei der kleineren Scheibe sind immer je zwei der Zeit nach auf einander folgende Schwingungsdauern zur Rechnung benutzt, da hier nicht wie bei der großen Scheibe eine continuirliche Beobachtungsreihe mit t_0 schliesst. Der Horizontalstrich in beiden Tabellen trennt zwei an verschiedenen Tagen gemachte Beobachtungsreihen. Als Trägheitsmoment des Apparates mit der großen Scheibe berechnet sich als Mittel der Zahlen in der dritten Columnne der Werth

$$5400,0 \text{ Gr. Cm}^2.$$

Der Radius R und die Dicke δ der beiden Scheiben wurde ebenfalls mit dem Kathetometer gemessen. Es ergab sich

	$2R$	δ
Kleine Scheibe	60 ^{mm} ,257	1,577
Große Scheibe	120 ^{mm} ,352	2,792.

Die Zahlen unter $2R$ sind die Mittel aus je vier, die unter δ aus je acht Messungen. Die grösste Differenz der einzelnen Messungen gegen einander beträgt 0^{mm},075.

Die Dichtigkeit ρ ist aus dem Gewichtsverlust eines in die Flüssigkeit getauchten Glaskörpers bestimmt. Da sich dieselbe mit der Temperatur ändert, so muss die Ausdehnung der Flüssigkeit bekannt seyn, um daraus deren Dichtigkeit für die Beobachtungstemperatur zu berechnen. Indessen ist die Änderung der Dichtigkeit mit der Temperatur sehr gering gegenüber der zugleich stattfindenden Änderung der Reibungsconstante. Deshalb habe ich mir erlaubt, für die untersuchten Flüssigkeiten die bekannte Ausdehnung des Wassers anzunehmen mit Ausnahme der Lösungen von Chlornatrium, Zinkvitriol und schwefelsaurem Magnesia. Für erstere ist die Ausdehnung bekannt¹⁾, für die beiden letzteren habe ich sie ermittelt, indem ich ihr specifisches Gewicht bei verschiedenen Temperaturen bestimmte.

Die untersuchten Lösungen von Chlornatrium, Chlorcalcium, Chlormagnesium und Chlorbaryum sind dieselben,

1) Hoffmann, Tabellen für Chemiker, S. 132.

deren galvanisches Leitungsvermögen von Kohlrausch und mir¹⁾ bestimmt wurde; ihr Prozentgehalt, sowie ihr specifisches Gewicht war bereits früher ermittelt. Dazu kommen noch neue Lösungen von Zinkvitriol und schwefelsaurer Magnesia in verschiedenen Concentrationen. Der Prozentgehalt der letzgenannten Flüssigkeiten ist mittelst geeigneter Tabellen aus dem specifischen Gewichte ermittelt.

(Schluss im nächsten Heft.)

**VII. Bemerkungen zu Edlund's Erwiderung
auf zwei gegen die unitarische Theorie der
Elektricität gemachte Einwürfe²⁾;
von W. Weber.**

(Briefliche Mittheilung.)

— Zunächst muss ich mir die Bemerkung erlauben, dass der erste, gegen Neumann gerichtete Einwurf, gar nicht denselben trifft. Neumann hat nämlich, in der „Nachschrift“ seiner Abhandlung im 155. Bande der Annalen S. 228, *erstens* die Thatsache der sogenannten *unipolaren Induction* angeführt, und hat *zweitens* daraus bewiesen, dass (wenn die Vorstellung überhaupt richtig sey, dass die Wirkungen des elektrischen Stroms irgend welchen Materien zuzuschreiben sind, die mit gewissen Geschwindigkeiten in der Strombahn dahinfliessen) mindestens *zwei* solche Materien anzunehmen seyen.

Gegen die letztere Neumann'sche Beweisführung hat nun Edlund nichts eingewendet; aber auch die von Neumann angeführte, keineswegs von ihm aufgestellte oder verbürgte Thatsache, dass nämlich ein kreisförmiger

1) Diese Ann. Bd. 154, S. 1 und 215.

2) Diese Ann. Bd. 156, S. 590.

elektrischer Stromring von constanter Stärke in einem *ungeschlossenen* linearen Leiter keine elektromotorische Kraft inducire, falls beide fest aufgestellt sind, hingegen eine elektromotorische Kraft *von gewissem Werthe* inducire, falls er um seine geometrische Axe mit constanter Geschwindigkeit rotire, — hat Edlund in seiner Erwiderung ebenfalls angeführt und ausdrücklich hinzugefügt, daß sie der allgemeinen Vorstellung über den physischen Verlauf bei der *unipolaren Induction* wirklich entspreche. Sein gegen die *Richtigkeit der Thatsache* erhobener Zweifel aber trifft Neumann, der sich nicht dafür verbürgt hat, gar nicht.

Edlund führt die Thatsache der unipolaren Induction S. 592 mit folgenden Worten an: „Die Erfahrung lehrt, daß wenn eine *geschlossene* still liegende Leitungsbahn b sich in der Nähe eines um seine Axe rotirenden Magnets befindet, kein Inductionsstrom in der geschlossenen Leitungsbahn entsteht. Die Ursache ist nach der gewöhnlichen Vorstellungweise die, daß der rotirende Magnet in dem einen Theile b_1 der geschlossenen Leitungsbahn einen Inductionsstrom wirklich hervorrufe, dieser aber ebenso groß sey als der, der durch den Magnet im übrigen Theile b_2 der Leitungsbahn hervorgerufen wird; diese beiden Inductionsströme gehen aber in entgegengesetzter Richtung und heben demnach einander auf. Wird aber der Bahntheil b_1 fest mit dem Magnet verbunden und dieser um seine Axe in Rotation versetzt; so wirkt der Magnet nicht auf diesen Bahntheil b_1 ein. Wenn nun bei dem Versuche die Anordnungen so sind, daß b_1 ungeachtet der Rotation fortwährend mit dem andern Bahntheile b_2 in galvanischer Verbindung steht, so erhält man in der Leitung einen Inductionsstrom; das ist nämlich der Strom, der durch Induction des rotirenden Magnets in dem Bahntheile b_1 entsteht.“

Edlund stellt nun aber die *Richtigkeit* dieser von ihm selbst angeführten Thatsache in Abrede, daß nämlich die

Rotation an und für sich (sey es ein Stromring oder ein Magnet der rotirt) auf einen in der Nähe befindlichen *still liegenden Theil* eines geschlossenen Leiters eine besondere inducirende Wirkung ausübe, vielmehr behauptet er, daß von der Erfahrung das Gegentheil bestätigt werde, und beruft sich zum Beweise dieser Behauptung auf einen von Plücker angestellten Versuch, Band 87, S. 352 dieser Annalen, den er zu diesem Zwecke auch selbst wiederholt habe.

Nach Edlund's Beschreibung wird bei diesem Versuche ein Strom beobachtet in einer Leitungsbahn, welche immer geschlossen erhalten wird, während ein von einem kupfernen Cylinder b , gebildeter Theil derselben um die Axe eines im Cylinder befindlichen Magnets rotirt. *Dieser Strom bleibt nach Richtung und Stärke unverändert, der Magnet im Cylinder möge still stehen oder mit dem Cylinder zusammen rotiren.*

Nach der gewöhnlichen Vorstellung von dem physischen Verlaufe bei der unipolaren Induction, meint nun Edlund, hätte dieser Versuch anders ausfallen sollen. Wenn nämlich der Cylinder b , allein rotirte und der Magnet in Ruhe war, konnte man letzteren mit dem ebenfalls still liegenden Galvanometerdrahte b_u (welcher mit b , einen immer geschlossen bleibenden Leiter b bildete) als fest verbunden betrachten, so daß nach jener Vorstellungsweise die Induction blos in b , stattfinden konnte; wenn dagegen der Magnet und der Cylinder b , mit gleicher Geschwindigkeit in gleicher Richtung rotirten, konnte man den Magnet mit b , als fest verbunden betrachten, wonach die Induction blos in b_u stattfinden konnte.

Der inducirete Strom, fährt nun Edlund fort, mußte demnach, *jener Vorstellung gemäßs*, beim Uebergange von einem Versuche zum andern die Richtung verändern, und daraus, daß dies nicht der Fall war, folgert Edlund, daß jene Vorstellung, die man sich von dem physischen Verlaufe bei der unipolaren Induction bisher gebildet hat,

ein
chen
be-
auptet
ägt
tung
1 87,
auch

Ver-
elche
einem
n die
Dieser
, der
Cylin-

physi-
t nun
sollen.
d der
dem
welcher
b bil-
n jener
finden
nder b,
rotir-
bunden
tfinden

mußte
ge von
rn, und
dlund,
sischen
det hat,

weil sie gegen die Erfahrung streite, durchaus unrichtig sey.

Folgende Bemerkung wird genügen, um den von Edlund in dieser Deduction begangenen Irrthum nachzuweisen.

Bei dem *ersten Versuche* rotirte (vorwärts) der inducirte Leitertheil b_1 und der Magnet stand still; bei dem *zweiten Versuche* rotirte (ebenfalls vorwärts) der Magnet, und der inducirte Leitertheil b_2 stand still.

Eine unmittelbare Vergleichung dieser beiden Versuche ist nicht statthaft, aber mittelbar läßt sie sich leicht bewerkstelligen, wenn man beachtet, daß es der Sache nach ganz identisch ist, ob der *Leiter vorwärts rotirt und der Magnet still steht*, oder ob der *Leiter still steht und der Magnet rückwärts rotirt*.

Setzt man im *ersten Versuche* demnach den letzten Fall statt des ersteren, so wird die Vergleichung mit dem *zweiten Versuche* ermöglicht, und man erhält das Resultat, daß der *rückwärts rotirende Magnet* (im ersten Versuche) im stillstehenden *Leitertheile b_1* einen Strom von *gleicher Richtung und Stärke* inducire, wie (im zweiten Versuche) der *vorwärts rotirende Magnet* im stillstehenden *Leitertheile b_2* , was in vollkommener Uebereinstimmung mit der allgemeinen Vorstellung vom physischen Verlaufe bei der unipolaren Induction steht, wie sie von Edlund selbst angegeben worden ist. Hiernach werden nämlich, was von Edlund übersehen worden ist, in den beiden Theilen b_1 und b_2 , welche zusammen eine immer geschlossene Leitungsbahn b bilden, *entgegengesetzte Ströme* nur dann inducirt, wenn der Magnet relativ gegen den Leiter *in gleicher Richtung rotirt*, sowohl wenn er b_1 als auch wenn er b_2 inducirt; dagegen werden in b_1 und in b_2 *gleichgerichtete Ströme* inducirt, wenn, wie bei obigen Versuchen, der Magnet bei der Induction von b' (relativ gegen diesen Leiter) *rückwärts rotirt*, während er bei der Induction von b_2 *vorwärts rotirt*.

Leipzig, 23. December 1875.

**VIII. Ein neues Chromatrop;
von Ph. Dr. Heinrich Morton,**

Präsident der Stevens Institute of Technology, Hoboken N. J.

Es giebt eine Anzahl von Erscheinungen eng verbunden mit derjenigen, welche gewöhnlich durch die siebenfarbige Newton'sche Scheibe illustriert wird; mit anderen Worten, Erscheinungen in dem Gebiet der Zusammensetzung der Farben und der Fortdauer des Lichteindrucks auf der Netzhaut, welche man lieber mittelst eines durchsichtigen Apparats und einer Laterna magica, als durch eine große direct gesehene, undurchsichtige Scheibe veranschaulicht; wirklich macht Dubosq mehrere Chromatrophe dieser Art schon seit zwanzig Jahren oder noch länger.

Eins derselben besteht aus einer Newton'schen Scheibe, hergestellt durch Befestigung von farbigen Gelatinesectoren zwischen zwei dünnen Glasscheiben. Das Ganze wird mittels einer kleinen Rolle am Centrum, welche durch einen Riemen mit einem großen Rad verbunden ist, in Bewegung gesetzt.

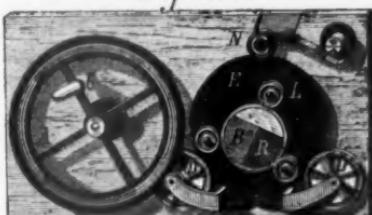
Ein anderes besteht aus zwei bemalten Scheiben, welche sich in umgekehrten Richtungen drehen, und so eine wellenartige Lichtbewegung hervorbringen. Dieser Apparat wird durch einen endlosen Riemen bewegt, welcher um die Rolle und die zwei Scheiben läuft. Bei schneller Umdrehung erhält man mit diesem Chromatrop leuchtende Kettenbilder, welche die Fortdauer des Lichteindrucks recht gut veranschaulichen.

Noch ein anderes Chromatrop illustriert Faraday's Beobachtung der gezahnten Räder, welche sich im umgekehrten Sinne bewegen.

Alle diese Apparate sind gut genug in ihrer Art; aber es fehlen immer noch die Bedingungen für Umdrehungsgeschwindigkeit, Festigkeit und Farbenklarheit.

Da ich diese und viele andere Illustrationen dieser Art in einer von mir in der Philadelphier *Academy of Music* gehaltene Vorlesung zu benutzen gedachte, wandte ich mich an Hrn. Geo. Wale, von der Firma Geo. Wale u. Comp., Instrumentenmacher in unserem Institut, und verfertigte mir derselbe ein Instrument von großer Einfachheit und Dauerhaftigkeit. Folgendes ist eine Beschreibung desselben.

Fig. 1.



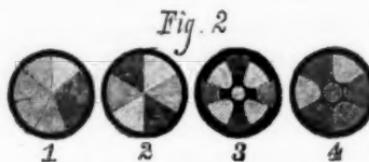
Figur 1 erläutert die Construction des Apparats mit einer später zu beschreibenden Verbesserung. Das große Rad *A* ist aus Messing und im Rande desselben ist eine recht-winklige Vertiefung, welche einen flachen Kautschukring enthält. Die Reibung dieses Ringes gegen den kleinen Theil der Rolle *D* ertheilt derselben eine hohe Geschwindigkeit.

Die Scheibe des Chromatrops berührt den großen Theil derselben Rolle und auch die beiden anderen Rollen *D'* und *H*. Da die Vertiefungen in den Rändern dieser Rollen mit dünnem Kautschukblatt bedeckt sind, ist es leicht der Scheibe eine große Umdrehungsgeschwindigkeit zu ertheilen.

Bei dieser Vorrichtung steht nichts dem freien Durchgang der Strahlen im Wege. Um die Bilder mit Leichtigkeit wechseln zu können, kann man die Scheibe, welche sie enthält, mit anderen vertauschen, indem man eine an der Rolle *H* angebrachte Feder spielen lässt.

Man könnte also bei diesem Apparat die größte Man-

nigfaltigkeit mittelst zahlreicher Scheiben erzielen; gegenwärtig jedoch verfertigt man nur folgende:



1) Farbige Newton'sche Scheibe. Diese Scheibe besteht aus sieben Sectoren, roth, rothgelb, gelb, grün, blau, indigo und violett. Die Stücke, wie auch bei den folgenden Scheiben, sind aus farbigem Glase und auf einer Scheibe von Spiegelglas mittelst Canada-Balsam befestigt. Die Zusammenfügung derselben ist so vollkommen, daß das auf die Schirmwand geworfene Bild fehlerlos ist. Die Klarheit, Regelmäßigkeit und Genauigkeit dieser Farben übertrifft Alles, was je in der Malerei geleistet worden ist.

2) Scheibe für Young's Theorie. Dieselbe enthält sechs rothe, grüne und violette Sectoren, welche durch ihre Zusammenwirkung die Wiederherstellung des weissen Lichtes hervorbringen.

3) Scheibe für Young's Theorie; nach Prof. Rood; zum Nachweis, daß aus Grün und Violett Blau entsteht. Dieselbe besteht aus einer Anzahl von Sectorentheilen, dargestellt im dritten Kreise der Fig. 2. — Die größeren Sectoren sind grün und die kleineren violett. Die schattirten Theile sind schwarz. Dreht man diese Scheibe geschwind, so erhält man erstens einen grünen Ring vom Rand bis zum Anfang der violetten Sectoren; dann einen Ring, wo Grün und Violett nach einander sichtbar werden, und folglich einen combinirten Eindruck auf die Netzhaut machen; und schließlich einen violetten Ring, von wo die grünen Sectoren aufhören. Die aus der Verbindung von Grün und Violett entstehende Farbe ist ein helles Himmelblau.

4) Scheibe für Young's Theorie; nach Prof. Rood; zum Nachweis, daß Gelb aus der Verbindung von Roth und Grün entsteht. Dieselbe ist ganz wie die vorige Scheibe, nur daß die kleineren Sectoren von rothem statt aus violettem Glase sind.

5) Scheibe zur Widerlegung der Brewster'schen Theorie, nach Prof. Rood; zum Nachweis, daß aus Blau und Gelb kein Grün entsteht. Siehe Fig. 2, vierten Kreis.

Diese Scheibe ist den vorhergehenden ähnlich, außer daß die acht Sectoren ganz sind und aus abwechselnden blauen und gelben Glasstücken bestehen. Wenn man dieselbe in Drehung setzt, erhält man die Wiederherstellung des weißen Lichtes.

6) Scheibe zur Erklärung der Fortdauer des Licht-eindrucks, „Chamäleon-Kreisel“, Erfindung des Schreibers dieser Mittheilung. Fig. 1 ist eine Abbildung dieses Apparats. Die Scheibe *E* ist aus vulkanisirtem Kautschuk und hat eine excentrische Oeffnung, in welche eine farbige, mittelst drei kleinen Rollen in Position gehaltene, Glasscheibe paßt.

Wenn man, während der schnellen Umdrehung der Scheibe, die kleinen Rollen leise mit dem Finger berührt, so erhält man denselben eine leichte Bewegung und bringt dadurch eine sehr langsame Drehung der Glasscheibe *RBW* hervor. Da diese, wie bereits bemerkt, gegen die große Scheibe excentrisch ist, und aus unglei-

Fig. 3.



chen Theilen (Fig. 3): *R* aus rothem, *B* aus blauem und *W* aus durchsichtigem Glase, besteht, so wird durch die Drehung eine Farbe nach der anderen in das Centrum der großen Scheibe geführt und werden dadurch immer neue Farbenverbindungen hervorgebracht.

Wenn z. B. die Scheibe in der in Fig. 3 abgebildeten Lage ist,

wo der grosse punktierte Kreis die grosse Scheibe, und *W, R, B* die weissen, rothen und blauen Theile der Glasscheibe vorstellen, so bleibt der mittlere kleine Kreis immer weiss, weil Weiss fortwährend ein Drehungszentrum der grossen Scheibe bleibt. Dagegen ist klar, daß in dem Ring zwischen dem kleinen Kreise und dem zweiten, die drei Farben, Weiss, Roth und Blau, nach einander dem Auge zugeführt werden, und dasselbe, in Folge der Fortdauer des Eindrucks, eine Mischung dieser Farben empfindet. Das Verhältnis der Farben wechselt ferner, so daß man nicht einen gleichmäfsigen flachen, sondern einen abgestuften Ring erblickt. Je näher dem kleinen Kreise, desto grösser das Verhältnis der weissen Farbe, während in der Nähe des zweiten Kreises beinahe gar kein Weiss mehr in der Mischung ist.

Zwischen dem zweiten und dem äusseren Kreise ist ein ähnlicher Ring, in dem sich Roth und Blau ohne Weiss verbinden. Dreht man nun die kleine Scheibe, so

Fig. 4.



daß der rothe Theil ins Centrum der grossen Scheibe kommt, und setzt den Apparat in Bewegung, so erhält man natürlich in der Mitte einen kleinen rothen Kreis; sodann, zwischen diesem und dem zweiten, eine Mischung von Roth und Blau; zunächst einen schmalen Ring, in dem sich Roth, Blau und Weiss verbinden; und endlich einen grossen abgestuften Ring, worin sich Blau und Weiss in verschiedenen Verhältnissen vermengen.

Die Verschiebung des Mittelpunktes erfolgt allmählig, und das hervorgerufene fortwährend wechselnde Bild ist von einer Pracht, welche jeder Beschreibung spottet. Es erinnert an eine sich fortwährend öffnende und erneuernde Blume, oder an eine Lichtquelle, aus deren Mitte immer neue farbige Wellen hervorsprudeln und einander bis an den Rand verfolgen.

Prof. C. A. Young, von Dartmuth College, hat folgende Vervollständigung vorgeschlagen. Anstatt einer einzigen Vertiefung mache man zwei in dem Rand der Rolle **D**, welche natürlich dicker gemacht werden muß. Die äußere Vertiefung ist tiefer als die andere, damit man das eingreifende Rad größer machen könne. So erhält man eine etwas schwächere Drehungsgeschwindigkeit für die eine Glasscheibe als für die andere. Die anderen Rollen **D'** und **H** bestehen je aus zwei unabhängigen Rädern.

Man hat hier also zwei sich mit ungleichen Geschwindigkeiten bewegende Scheiben; die eine ist farbig wie die schon beschriebene, und die andere ist theils schwarz und theils weiß, d. h. durchsichtig. Dadurch wird das von der ersten Scheibe hervorgebrachte Bild in schneller Folge verdeckt und wieder enthüllt. Der Apparat empfiehlt sich durch die bewundernswerthe Einfachheit der Mittel, durch welche diese Resultate erzielt werden.

Prof. Mac Cord, vom *Stevens Institute*, hat eine Vorrichtung erfunden, um den Scheiben Drehungen in entgegengesetzter Richtung zu ertheilen; und wirklich scheint die Grundidee des Hrn. Wale, die Scheiben direct durch die Reibung ihrer Ränder in Bewegung zu setzen, noch fernerer vielfältiger Ausbeutung fähig zu seyn.

Hoboken, New Jersey, Ver. St. am 30. October 1875.

**IX. Ueber die thermoelektrischen Eigenschaften
des Kalkspathes, des Berylls, des Idocrases
(Vesuvianes) und des Apophyllites;
von W. Hankel.**

(Aus den Berichten der math.-phys. Classe der Königl. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften 1874. Vom Hrn. Verf. übersandt.)

Nachdem ich in meinen früheren Untersuchungen über die thermoelektrischen Eigenschaften des Topases, des Schwerspathes und des Aragonites nachgewiesen hatte, daß bei nicht hemimorph gebildeten Krystallen die beiden gleichgestalteten Enden einer Axe dieselbe Polarität besitzen, und der Gegensatz zwischen der positiven und negativen Elektricität nur in der Vertheilung an krystallographisch verschiedene Axen zur Erscheinung kommt: so mußte erwartet werden, daß, wenn es gelänge, an symmetrisch gebildeten Krystallen des hexagonalen und des tetragonalen Systems thermoelektrische Erregungen überhaupt wahrzunehmen, die beiden entgegengesetzten Elektricitäten auf ihren Oberflächen so vertheilt seyn würden, daß die eine Elektricität an den beiden Enden der Hauptaxe, die andere aber an den Enden der Nebenachsen oder vielmehr ringsum im basischen Querschnitte und auf den prismatischen Seitenflächen hervorträte.

In der That haben nun die Beobachtungen dieser Voraussicht entsprochen, und zwar mit der Erweiterung, daß je nach der besonderen Art des Wachstums und der Gestaltung bei der einen Form die positive Elektricität an den beiden Enden der Hauptaxe und die negative auf den prismatischen Seitenflächen, und bei der andern gerade umgekehrt die negative an den Enden der Hauptaxe und die positive auf dem Umfange des basischen Querschnittes oder auf den prismatischen Seitenflächen erscheint.

Die
der G
über
des E
phyllit
hören
aber
der un
lung
Zeichn
beobac
Die
chung
Ich be
gemach
den Ze
peratur

Die
nalen
in Bez
gruppe
Freibe
des ve
axe ve
(oder
Krysta
Fläche
beiden
statt.

1) I

9

6

1) Die

K.

11.

Die Abhandlung ¹⁾), welche ich die Ehre habe, heute der Gesellschaft vorzulegen, enthält die Untersuchungen über die thermoelektrischen Eigenschaften des Kalkspathes, des Berylls, des Idocrases (Vesuvianes) und des Apophyllites. Die Krystalle der beiden ersten Mineralien gehören dem hexagonalen, die Krystalle der beiden letzten aber dem tetragonalen Systeme an. Einen grossen Theil der untersuchten Krystalle habe ich auf den der Abhandlung beigefügten drei Tafeln abgebildet, und in diese Zeichnungen die an verschiedenen Stellen der Oberfläche beobachteten elektrischen Spannungen eingetragen.

Die allgemeinen Resultate, zu welchen jene Untersuchungen geführt haben, sind in der Kürze die folgenden. Ich bemerke nur noch zuvor, dass alle im Nachstehenden gemachten Angaben über die elektrische Polarität sich auf den Zustand des Erkaltens beziehen; bei steigender Temperatur ist dieselbe gerade die entgegengesetzte.

I. Kalkspath.

Die Krystalle des Kalkspathes gehören dem hexagonalen oder rhomboëdrischen Systeme an, und lassen sich in Bezug auf ihr elektrisches Verhalten in zwei Hauptgruppen scheiden: 1) Krystalle (von Schneeberg oder Freiberg in Sachsen), welche seitlich von den Flächen des verticalen Prismas $\propto R$ und an den Enden der Hauptaxe von den Flächen des stumpfen Rhomboëders — $\frac{1}{2}R$ (oder eines noch stumpferen) begränzt sind, und 2) in Krystalle (aus Derbyshire), welche wesentlich von den Flächen des Scalenoëders R_3 gebildet werden. Zwischen beiden findet ein vollständiger elektrischer Gegensatz statt.

1) *Krystalle, deren Seitenflächen durch das Prisma $\propto R$ gebildet werden, und deren Hauptaxe an ihren Enden die Flächen eines stumpfen Rhomboëders trägt.*

1) Dieselbe ist seitdem erschienen im 18. Bd. der Abhandlungen der K. S. Gesellsch. der Wissenschaften: Elektrische Untersuchungen, 11. Abhandlung.

Eine sehr gewöhnliche Form der in Schneeberg vor kommenden Kalkspatkristalle besteht aus kurzen oder nur mäfsig langen Prismen ∞R , deren Enden von den Flächen $-\frac{1}{2}R$ begrenzt werden. Diese Krystalle sind graulich gefärbt, und ihre Seitenflächen zeigen mehr oder weniger tiefe Querfurchen, welche auf ein Zusammenwachsen niedriger Prismen (∞R und $-\frac{1}{2}R$), die sich in der Richtung der Hauptaxe übereinander gelegt haben, hinweisen. Diese Kalkspäthe zeigen eine ziemlich starke elektrische Erregung.

Ein vollständig ausgebildeter Krystall dieser Art besitzt auf den Flächen $-\frac{1}{2}R$, also an den beiden Enden der Hauptaxe positive, auf den Seitenflächen ∞R aber negative Polarität. Ist nur das eine Ende (es möge das obere heißen) von den Krystallflächen $-\frac{1}{2}R$, das andere untere (verwachsen gewesene) aber von den, mit dem Grundrhomboeder R parallelen Durchgängen begrenzt, so bleibt die eben angegebene Vertheilung bestehen: nur das untere von den Durchgängen begrenzte Ende besitzt meistens eine stärkere positive Spannung als das obere.

Wird ein solcher Krystall nach einem mit R parallelen Durchgange ungefähr in der Mitte zersprengt, so erscheinen die beiden Durchgangsflächen, welche auf einander gelegen haben, im Allgemeinen positiv; es nimmt aber die positive Spannung auf der Durchgangsfläche am oberen Stücke nach oben hin an Stärke ab, und geht daselbst, je nach der Lage der Durchgangsfläche in die negative über, während auf der Durchgangsfläche am untern Stücke die positive Elektricität nach unten zu abnimmt, und unten auch wohl in die negative übergeht. Beide Durchgangsflächen zeigen also in Bezug auf das ihnen zugehörige Axenende ein analoges Verhalten. Man könnte sagen, die Summe der beiden auf je zwei einander gegenüber liegenden Punkten dieser Durchgangsflächen befindlichen elektrischen Spannungen (mit Rücksicht auf ihr Vorzeichen) sey angenähert eine constante Grösse.

Eine gleiche Vertheilung der beiden Elektricitäten zei-

gen die
von Fr
welche
der Ha
fast wi
werden

Auf
berg ab
begrenz
und kei
nur mi
wesene
gung w
dass, w
rität d
flächen
daselbst
die pos
Ende, e
sich au
tischen
wisser

2) K
Se

Die
Flächen
bereits
trisches
gefärbte
Bei der
Elektricit
ihnen a
positive E
und auf

Wirc
mit de
sprengt

gen die ebenfalls von ∞R und $-\frac{1}{2}R$ gebildeten Krystalle von Freiberg, sowie die Schneeberger Kalkspathkrystalle, welche seitlich von den Flächen ∞R und an den Enden der Hauptaxe von einem sehr stumpfen Rhomboëder, das fast wie die gerade Endfläche $0R$ erscheint, begränzt werden.

Aufer den zuvor beschriebenen finden sich in Schneeberg aber auch fast farblose, ebenfalls von ∞R und $-\frac{1}{2}R$ begränzte Krystalle, deren Seitenflächen jedoch glatt sind, und keine Spur von Querfurchen zeigen. Es standen mir nur mit dem einen Ende der Hauptaxe angewachsen gewesene Individuen zur Verfügung. Ihre elektrische Erregung weicht nun insofern von der zuvor angegebenen ab, dass, wenn ich es so ausdrücken darf, die negative Polarität der Seitenflächen sich auch über die Rhomboëderflächen $-\frac{1}{2}R$ des freien (oberen) Endes verbreitet, und daselbst die positive Spannung verdrängt. Letztere, also die positive Spannung, verbleibt dagegen auf dem untern Ende, erreicht daselbst eine ziemliche Stärke und dehnt sich auch wohl etwas über die untern Stücke der prismatischen Seitenflächen aus. Diese Krystalle bilden in gewisser Weise einen Uebergang zu der zweiten Gruppe.

2) *Krystalle, welche wesentlich von den Flächen des Scalenoëders R_3 begränzt sind.*

Die Derbyshirer Krystalle sind vorzugsweise von den Flächen des Scalenoëders R_3 begränzt, und zeigen, wie bereits oben bemerkt, ein gerade entgegengesetztes elektrisches Verhalten, als die zuerst beschriebenen graulich gefärbten Schneeberger Krystalle mit starken Querfurchen. Bei den Derbyshirer Krystallen erscheint die negative Elektricität an den beiden Enden der Hauptaxe und den ihnen anliegenden Theilen der Scalenoëderflächen; die positive Elektricität findet sich dagegen auf den Randkanten und auf den an den Randecken auftretenden Flächen ∞R .

Wird ein solcher Krystall aus Derbyshire nach einem mit dem Grundrhomboëder R parallelen Durchgange zer sprengt, so verhalten sich die beiden Durchgangsflächen

entgegengesetzt, als bei den Schneeberger Krystallen. Auf der untern Durchgangsfläche am oberen Stücke nimmt die elektrische Spannung von oben nach unten hin im negativen Sinne zu; ist diese Fläche - also oben positiv, so nimmt diese positive Elektricität nach unten hin ab, und geht auch wohl in die negative über; ist dieselbe am oberen Rande bereits negativ, so wächst die negative Spannung nach unten hin. Die obere Durchgangsfläche am untern Stücke verhält sich gerade umgekehrt; auf ihr nimmt also die elektrische Spannung von oben nach unten im positiven Sinne zu. Die beiden Durchgangsflächen zeigen folglich in Bezug auf das ihnen zugehörige Axenende ein analoges Verhalten und man könnte auch hier wieder sagen, daß die Summe der auf zwei gegenüberliegenden Punkten dieser Durchgangsflächen befindlichen elektrischen Spannungen (mit Rücksicht auf ihr Vorzeichen) angenähert eine constante Grösse sey. Ob die Durchgangsflächen positiv oder negativ, oder zum Theil positiv und zum Theil negativ erscheinen, hängt von ihrer Lage im ganzen Krystalle ab.

Auch die scalenoödrischen Krystalle von Andreasberg und die langen säulenförmigen Krystalle von Alston in Cumberland dürften dieser zweiten Abtheilung angehören. Leider standen mir keine an beiden Enden der Hauptaxe ausgebildeten Krystalle zu Gebote. Die Krystalle von Alston sind am untern verwachsen gewesenen Ende, sowie in der untern Hälfte der Prismenflächen positiv, in den oberen Hälften derselben und am oberen Ende dagegen negativ. Bei einem von den Scalenoödern R_3 , R_5 , R_7 begrenzten Andreasberger Kalkspathe ist das untere verbrochene Ende positiv, die Scalenoöderflächen aber negativ, jedoch mit Ausnahme einer positiven Zone, welche sich an einer Stelle, wo eine ziemlich große Fläche des Rhomboëders $4R$ auftritt, eine Strecke weit von oben nach unten herabzieht.

Wird ein Kalkspatkrystall während des Erhitzen untersucht, so ist wie bereits bemerkt, eine elektrische

Spann
den Zu
die wi
reits B
130° C
Masse
selbe
nannte
zu ers

Di
gonale
Prism
seitige
der H
kleine
ecken

Di
veränd
vorgen
ja sie
Ausbi
man
Anzei

Be
und d
theilu
gefähr
Bei d
meine
dadur
entwe
mehr
negat
gang
dener

Pog

Spannung gerade die entgegengesetzte als die zuvor für den Zustand des Erkaltens angegebene; doch verschwindet die während des Erhitzens hervorgetretene Spannung bereits bei wenig hoher Temperatur wieder; bei 120° bis 130° C. ist keine Elektricität wahrzunehmen, obwohl die Masse des Krystals noch isolirt, und ebenso beginnt dieselbe beim Erkalten erst nach dem Sinken unter die genannte Temperaturgränze mit umgekehrten Zeichen wieder zu erscheinen.

II. B e r y l l.

Die Krystalle des Berylls gehören ebenfalls zum hexagonalen Systeme und bilden im Wesentlichen sechsseitige Prismen ∞P , deren Seitenkanten durch das zweite sechsseitige Prisma $\infty P \infty$ abgestumpft sind; an den Enden der Hauptaxe liegt die gerade Endfläche OP , während kleine Pyramidenflächen auf den Randkanten und Randcken sich finden.

Die elektrische Spannung, welche durch Temperaturveränderungen auf der Oberfläche der Beryllkrystalle hervorgerufen wird, ist im Allgemeinen wenig beträchtlich; ja sie wird bei manchen durch Klarheit und vollkommene Ausbildung ausgezeichneten Krystallen so schwach, daß man nur mit der größten Aufmerksamkeit sehr geringe Anzeichen derselben wahrzunehmen vermag.

Bei den Smaragden sind die Endflächen OP positiv und die Seitenflächen ∞P negativ. Die elektrische Vertheilung gleicht also vollkommen der bei den graulich gefärbten Schneeberger Kalkspathkrystallen beobachteten. Bei den russischen Beryllen ist die Vertheilung im Allgemeinen dieselbe; nur tritt sehr häufig eine Abweichung dadurch ein, daß auf einer oder auch zwei Seitenflächen entweder in ihrer ganzen Ausdehnung oder auf einem mehr oder weniger großen Theile derselben anstatt der negativen die positive Elektricität erscheint. Dieser Vorgang findet namentlich bei solchen Krystallen statt, bei denen die übrigen Seitenflächen stark negativ sind, und

scheint zur Herstellung des elektrischen Gleichgewichtes gefordert zu werden, indem die auf den viel kleineren Endflächen vorhandene positive Spannung nicht allein der auf den langgestreckten Seitenflächen auftretenden negativen das Gleichgewicht zu halten vermag.

Eigenthümlich ist das Verhalten der Berylle von Elba. Während ein Theil, und zwar wenn ich nach den mir vorliegenden Krystallen schliessen darf, der grössere, dieselbe Lage der elektrischen Zonen zeigt, wie die Smaragde und russischen Berylle, ist auf andern Krystallen die elektrische Vertheilung gerade die entgegengesetzte, d. h. also bei diesen letzteren besitzen die Endflächen negative und die Seitenflächen positive Spannungen, wobei jedoch auf einzelnen Seitenflächen mehr oder weniger ausgedehnte negative Stellen erscheinen. Ich habe kein äusseres Merkmal aufzufinden vermocht, welches die Krystalle der ersten Art von denen der zweiten unterscheiden ließe.

III. Idocras (Vesuvian).

Die Krystalle des Idocrases oder Vesuvianes gehören dem tetragonalen Systeme an, und bilden gewöhnlich vierseitige Prismen ∞P , deren Kanten durch die Flächen des zweiten vierseitigen Prismas $\infty P \infty$ abgestumpft werden. An den Enden der Hauptaxe finden sich die Flächen der Grundpyramide P , und mehr oder weniger ausgedehnte Endflächen $O P$.

Die am Flusse Wilui in Sibirien in einer tuffartigen halbverwitterten Felsart vorkommenden Krystalle (auch wohl Wiluit genannt) sind ringsum ausgebildet, und zeigen eine Art schaliger Bildung, während die Krystalle von Ala in Piemont ein dichtes Gefüge haben und, soviel deren mir vorgelegen, stets mit dem einen Ende angewachsen sind.

Diese Verschiedenheit in der Art der Bildung und des Wachsthumes bedingt nun eine ähnliche Abweichung in der Vertheilung der beiden Elektricitäten, wie wir sie oben bei den graulich gefärbten Schneeberger Kalkspath-

krysta
losen
flächen
Bei
flächen
 $\infty P \infty$
Bei
nicht
ist die
also a
denflä
Seiten
Das u
positiv
prisma
also in
spatth
den g
überei
Au
Ala,
noch z
vor, w
ausgeb
gen, w
ten ei
gehend
eine A
die E
gativ.

Di
nalen
Gestal
eine s

krystallen mit quergefurchten Seitenflächen und den farblosen Krystallen desselben Fundortes mit glatten Seitenflächen beobachtet haben.

Bei den Idocrasen vom Wilui sind die geraden Endflächen $0P$ nebst den gegen die Axe geneigten Pyramidenflächen positiv, die prismatischen Seitenflächen ∞P und $\infty P \infty$ aber negativ.

Bei den Krystallen von Ala hingegen, deren Hauptaxe nicht sehr beträchtlich länger ist als ihr Querdurchmesser, ist die negative Zone auf das obere ausgebildete Ende, also auf die Endfläche $0P$ und die umgebenden Pyramidenflächen verschoben, und nimmt auf den prismatischen Seitenflächen nur noch schwach die oberen Theile ein. Das untere verbrochene Ende erscheint positiv, und diese positive Spannung breitet sich mehr oder weniger über die prismatischen Seitenflächen aus. Diese Krystalle gleichen also in ihrer elektrischen Vertheilung den farblosen Kalkspathkrystallen von Schneeberg, während die Wiluite mit den graulich gefärbten Krystallen desselben Fundortes übereinstimmen.

Aufer den gewöhnlich vorkommenden Idocrasen von Ala, mit verhältnismässig kurzer Hauptaxe, lagen mir noch zwei längere dünnerne Krystalle desselben Fundortes vor, welche beide nur an dem einen Ende der Hauptaxe ausgebildet waren und daselbst eine grosse Fläche $0P$ trugen, während das andere Ende verbrochen war. Sie zeigten eine viel stärkere elektrische Erregung als die vorhergehenden, und bildeten, ähnlich wie die Elbaer Berylle, eine Art vom elektrischen Gegensatz: bei dem einen war die Endfläche $0P$ positiv, bei dem andern dagegen negativ.

IV. *Apophyllit* (Ichthyophthalm).

Die Krystalle des Apophyllites gehören dem tetragonalen Systeme an; sie sind gewöhnlich Combinationen der Gestalten $\infty P \infty$, P und $0P$, und besitzen parallel mit $0P$ eine sehr vollkommene Spaltbarkeit. Sie erhalten durch

Temperaturänderungen sehr starke elektrische Spannungen; dies gilt selbst von den krystallinisch blättrigen Massen aus dem Fasathale.

Die beiden Enden der Hauptaxe und ihre Umgebungen sind positiv, die mittlere Region ist aber negativ. Bei den Andreasberger Krystallen von der Grube Samson, welche große Flächen P und kleinere Flächen $\infty P \infty$ tragen, sind daher die Flächen $0P$ nebst dem größten Theile der Pyramidenflächen P positiv, die Mittelkanten aber nebst den anliegenden Stücken der Pyramidenflächen und den Flächen $\infty P \infty$ negativ. Werden die Flächen $\infty P \infty$ sehr groß, so erstreckt sich die positive Elektricität von den Enden der Hauptaxe aus auch wohl noch über ihre oberen und unteren Theile.

Dehnen sich die Flächen $\infty P \infty$ so weit aus, daß etwas längere quadratische Prismen entstehen, so sind die Prismenflächen negativ, die Flächen $0P$ und P aber positiv.

Wird an einem Apophyllitkrystalle die Spitze der Hauptaxe nach dem mit $0P$ parallelen Durchgange abgesprengt, so zeigt die Basis der kleinen vierseitigen Pyramide negative, dagegen die Abstumpfungsfläche an dem großen Stücke, an welcher jene Basis angelegen hatte, noch wie die Endfläche, positive Spannung. Rückt der Durchgang, in welchem der Krystall zersprengt wird, näher nach der Mitte, so treten auf der Durchgangsfläche am größern Stücke neben positiven Stellen auch negative Zonen auf, bis schließlich bei weiterer Annäherung an die Mitte die ganze Fläche negativ erscheint. Ebenso zeigt auch bei den etwas längeren prismatischen Krystallen, wenn dieselben am untern aufgewachsen gewesenen Ende von einem mit $0P$ parallelen Durchgange begrenzt werden, diese untere Durchgangsfläche negative Spannung.

**X. Das Vorkommen des Stickstoffeisens unter den Fumarolen-Producten des Aetna und künstliche Darstellung dieser Verbindung;
von Prof. Orazio Silvestri in Turin.**

(Aus den *Atti dell' accademia Gioenia in Catania* vol. X, Serie III auf Wunsch des Verfassers übertragen von G. vom Rath.)

§. 1.

Um die Entstehung einer mineralischen Substanz, welche ich unter den Fumarolen-Producten des Aetna beobachtete, zu erklären, unternahm ich folgende Versuche:

I. Ich ließ vollkommen trockenes Ammoniak durch ein glühendes Platinrohr streichen und sammelte an der Ausströmungsöffnung ein in Wasser sehr wenig lösliches Gas, welches weder brennbar war noch die Verbrennung unterhielt, keine alkalische Reaction besaß, vielmehr alle Kennzeichen des Stickstoffs, gemengt mit einer sehr kleinen Menge von Wasserstoff, zeigte. Zufolge der hohen Temperatur war demnach das Ammoniakgas in seine beiden Elementarbestandtheile zerfallen. Während der Stickstoff im glühenden Rohre weitergeführt wurde, war der Wasserstoff zufolge der eigenthümlichen Porosität des glühenden Platins durch die Wandungen des Rohrs hindurchgedrungen.

II. Nachdem das Platinrohr mit groben Fragmenten neuer Aetnalava gefüllt, wurde derselbe Versuch wiederholt. Es trat eine kleine Menge brennbaren Gases mit allen Kennzeichen des Wasserstoffs aus. Der Stickstoff schien sich mit der Lava verbunden, und der größte Theil des Wasserstoffs durch die porösen Wandungen des glühenden Platinrohrs perfundirt zu seyn. Dieses Verhalten der Lava ist neu, während allerdings bekannt ist, daß glühendes Eisen in Berührung mit Ammoniakgas sein Gewicht bis zu 6 Proc. vermehrt.

III. Der eben geschilderte Versuch wurde in der Weise wiederholt, daß statt des Platinrohrs ein schwer schmelzbares Glas- oder Porcellanrohr angewandt wurde. Es entwickelte sich eine reichliche Menge von brennbarem Gase mit schwachem, nicht unangenehmem Geruch, welches zufolge eudiometrischer Analyse bestand aus:

Wasserstoff	90
Stickstoff	10
	100 ¹⁾ .

Es folgt aus diesem Versuche, daß fast sämmtlicher Wasserstoff austritt, während ein Theil des Stickstoffs von der Lava gebunden wird. Die Versuche I, II, III bestätigen demnach die Thatsache, daß das Ammoniak unter dem Einfluß hoher Temperatur in Wasserstoff und Stickstoff zerfällt, während sie zugleich zeigen, daß der Stickstoff grossentheils von der Lava absorbirt wird und der Wasserstoff im freien Zustande verharrt.

IV. Durch ein erhitztes, mit Bruchstücken von Aetnala-va gefülltes Glasrohr strich ein Strom von Chlorwasserstoffgas. Die Lava wurde unter Bildung von Wasser stark angegriffen und färbte sich gelb in Folge der Bildung von Chlorverbindungen des Eisens. Die gelbe zersetzte Masse läßt beim Auflösen in Wasser eine weiße unlösliche Substanz zurück, die Kieselsäure der zersetzen Silicate der Lava. Dieser Versuch erklärt sowohl die ungeheuren Massen von Chloreisen auf den neueren Laven, in den Spalten und den Oeffnungen der Fumarolen und im Innern der Krater, als auch die Gegenwart des Kieselpulvers, welches die Oberfläche der Lava weiß färbt, nachdem das Regenwasser die löslichen Chlorverbindungen weggewaschen und die unlösliche Kieselsäure zurückgelassen hat.

1) Das Gasgemenge, in welches Ammoniak beim Hindurchstreichen durch ein glühendes Rohr zerfällt, nimmt bekanntlich ein doppeltes Volumen des ursprünglichen Ammoniaks ein; man erhält drei Raumtheile Wasserstoff auf einen Raumtheil Stickstoff.

V. Die durch Chlorwasserstoffsäure zersetzte Lava wurde, nachdem sie behutsam, ohne die Chlorverbindungen des Eisens zu zerstören, getrocknet, in ein Porcellan- oder Glasrohr gefüllt und in einem Strome trocknen Ammoniakgases heftig geglüht. In Folge einer doppelten Zersetzung entwickelt sich an der Mündung des Rohrs Chlorwasserstoffgas (ferner Wasserstoff und Dämpfe von Salmiak), welches von der Zersetzung des Eisenchlorürs der Lava herrührt, dessen Eisen zum Theil sich mit Stickstoff verbindet und eine Substanz von metallischem Ansehen erzeugt.

VI. Schliesslich habe ich die beiden Versuche IV und V in der Weise combinirt, dass ich Salmiakdämpfe auf die Lava wirken ließ, wobei die in der Glühhitze zerfallenden Gase, Chlorwasserstoff- und Ammoniakgas, auf die heiße Lava in einem Glasrohre bei Rothgluth reagirten. Die beiden Gase vereinigen nun ihre Wirkung: die Chlorwasserstoffsäure wirkt auf das Eisen der Lava und erzeugt Chloreisen, welche Verbindung wiederum durch das Ammoniak zerstört wird. Es entsteht Chlorwasserstoffsäure, welche sich mit den Salmiakdämpfen entwickelt; eine gewisse Menge von Stickstoff vereinigt sich mit dem Eisen, während gleichzeitig eine ansehnliche Menge von Wasserstoff sich frei entwickelt. Gleichzeitig bekleidet sich die Lava mit einem metallischglänzenden, grauen Ueberzuge von Stickstoffeisen. Auf diesem Wege, nämlich durch Anwendung von Salmiakdämpfen, gelang mir die Darstellung dieser Verbindung schwieriger als durch die getrennte Einwirkung von Chlorwasserstoffsäure und Ammoniak. Im ersteren Falle ist nämlich die Regulirung der Temperatur mit Schwierigkeit verbunden. Dieselbe muss hoch genug seyn, um die Salmiakdämpfe zu zersetzen und die Einwirkung der getrennten Gase auf die Lava einzuleiten; doch darf sie eine gewisse Gränze nicht übersteigen, wenn nicht die Bildung des Stickstoffeisens verhindert oder das etwa schon gebildete wieder zerstört werden soll.

§. 2.

Diese Versuche beschäftigten mich bis zum J. 1870; die Ergebnisse theilte ich im genannten Jahre in der *Acc. Gioenia* zu Catania mit, sowie auf der Naturforscher-Versammlung zu Siena im Herbste 1872. Prof. Tschermak aus Wien, welchem ich bei seinem Besuche in Catania 1872 die Ergebnisse meiner Versuche zeigen konnte, gab über dieselben bereits einen kurzen Bericht in den von ihm gesammelten „Miner. Mitth.“ 1872 Heft I, S. 54. Der Ausgangspunkt meiner Studien war die Erklärung der Entstehung eines metallischglänzenden Ueberzugs, welchen ich häufig auf frischen Laven beobachtete. Dieser lichtgraue oder fast silberweisse Ueberzug ist mit dem Gestein so innig verbunden, daß es nicht gelingt, ihn von der Lava abzulösen und eine genügende Menge zur Analyse zu gewinnen. Es blieb mir deshalb zweifelhaft, ob dieses natürliche Vorkommen chemisch ident sey mit dem künstlich — wie oben gezeigt — dargestellten Stickstoff-eisen.

Hr. Prof. Sart. v. Waltershausen beobachtete auf der Lava, welche der Aetna bei der kurzen Eruption von 1869 spie, einige noch heiße und dampfende Blöcke, welche durch silberglänzende Partien seine Aufmerksamkeit erweckten, während die übrige Oberfläche der Stücke durch die in Folge der Zersetzung abgeschiedene und zurückgebliebene Kiesel-säure weißlich war. Sartorius beeilte sich, jene Lavablöcke mit aller Vorsicht nach Catania zu schaffen, um in meinem Laboratorium jenen glänzenden schönen Ueberzug zu analysiren. Als derselbe mir die Steine zeigte, war leider jene Substanz von metallischem Ansehen, wahrscheinlich infolge der Imprägnation der Lava mit sauren Dämpfen und Lösungen, fast gänzlich verschwunden und eine Untersuchung nicht mehr möglich. Ein einziges Fragment, welches den metallischen Körper noch erkennen ließ, wurde in eine mit Wasserstoff gefüllte Röhre eingelassen. Doch auch dies Stück, welches

Sartorius mit nach Göttingen nahm, verfiel der Zersetzung¹).

Die jüngste Aetna-Eruption vom Aug. 1874²), welche ein besonderes Interesse dadurch gewährte, daß ein großartig begonnener Ausbruch nach kürzester Dauer plötzlich endete, gestattete mir, die Schlunde der noch dampfenden Lava, nur zwei Tage nach ihrer Thätigkeit, zu besuchen und dort auf den mehr oder weniger schlackigen Lava-massen die Producte der zersetzen- und neubildenden Fumarolengase zu erforschen. Ich beobachtete auch hier wieder jene metallisch glänzende Substanz, deren Ansehen an lichten Stahl erinnerte und ich war so glücklich, eine zur Untersuchung hinreichende Menge dünner, mit jenem silberglänzenden Ueberzug bedeckter Lavarinden zu sammeln.

Das spec. Gewicht der metallisch glänzenden magnetischen Rinde bestimmte ich = 3,147. Bei Glühhitze tritt Zersetzung ein, indem Stickstoff frei wird; unter gleichzeitiger Einwirkung von Wasserdampf bildete sich Magneteisen und Ammoniak. Von Säuren, selbst von Salpetersäure, wird die metallische Substanz nur langsam angegriffen³); es bildet sich ein Eisensalz und Salmiak. Schmelzt man dieselbe mit Schwefel zusammen, so entsteht Einfach-Schwefeleisen (Ferrosulfit) unter Entwicklung von Stickstoff.

Bekanntlich ist die Zusammensetzung des Stickstoffeisens bis jetzt noch nicht mit Genauigkeit ermittelt; nach

1) Bei der künstlichen Darstellung des Stickstoffeisens auf Lava beobachtete ich eine leichte Zersetzbarkeit und Zerfall der Verbindung, wenn die Lavastücke durch die Chlorwasserstoffsäure eine sehr tief eindringende Zersetzung erfahren hatten; war letzteres nicht der Fall, so zeigte das dargestellte Stickstoffeisen, der atmosphärischen Luft ausgesetzt, eine grösere Haltbarkeit.

2) Vgl. Neues Jahrb. d. Min. v. Leonhard und Geinitz, Jahrg. 1875, S. 36.

3) Ich beobachtete, daß auch das künstlich dargestellte Stickstoffeisen, unter gewissen Bedingungen, die möglicher Weise von der Temperatur bei seiner Bildung abhängen, durch Säuren, ja sogar durch Königswasser, nur schwierig angegriffen wird.

Fremy (*Compt. rend. LII*, p. 321) wäre die Formel Fe_5N_2 ; nach Stahlschmid Fe_4N_2 (diese Ann. Bd. 125, S. 37); nach Ragstadius Fe_6N_2 (Journ. f. prakt. Chem. Bd. 86). Die Analyse des künstlichen Stickstoffeisens geschah gewöhnlich in der Weise, daß man die Verbindung in einem Strome von Wasserstoffgas erhitzte und in metallisches Eisen und Ammoniak verwandelte. Dieselbe Methode wandte ich auf die natürliche Verbindung an, von welcher ich nur mit Mühe eine hinlängliche Menge von den Lavarinden ablösen konnte, und erhielt:

Eisen	90,86
Stickstoff	9,14
	100,00

woraus sich die Formel Fe_8N_2 , gleich der von Fremy aufgestellten, ergibt. Diese Verbindung, welche bisher nur künstlich dargestellt war, erscheint demnach auf den Laven des Aetna als ein Product der Fumarolenthäufigkeit auf eisenhaltige Lava und bildet eine neue Mineralspecies. Dieselbe hat ein halbgeschmolzenes Ansehen und besitzt keine Spur von Krystallisation.

Es ist nicht unmöglich, daß das Stickstoffeisen in den vulkanischen Processen eine nicht ganz unwesentliche Rolle spielt. In der That, wenn dieser Verbindung, welche wegen ihres innigen Haftens an der halbglasigen Lava so schwer rein auszuscheiden ist, das häufig zu beobachtende metallische Ansehen der Lava-Oberfläche zuzuschreiben ist, so müssen sowohl am Aetna als auch am Vesuv die Bedingungen zu ihrer Entstehung häufig gegeben seyn. Metallisch glänzende Oberfläche ist namentlich der in scharfkantige Blöcke zerfallenden Lava eigenthümlich, welche sich in der Nähe der Eruptionsschlünde und in der Mitte mächtiger Lavaströme findet¹⁾.

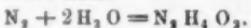
1) Auf einen Unterschied dieser Lava von der mehr plastischen, leichter beweglichen Lava anderer Ströme, machte ich in meiner Schrift (*Fenomeni vulcanici dell' Etna, eruzione dell' anno 1865; Catania 1867*) aufmerksam. Es scheint diese Verschiedenheit übereinzustimmen mit den beiden von Alb. Heim am Vesuv erkannten Lavaarten, der

Wenn in der That der Lava die Fähigkeit innewohnt, unter gewissen, namentlich von der Temperatur abhängigen, Bedingungen, Stickstoff zu absorbiren, so würde diese Thatsache auch auf die Bildung des Salmiaks, welcher in so großer Menge als ein Product der Fumarolen erscheint, ein neues Licht werfen. Salmiak bildet sich in den Fumarolenspalten und deren Mündungen nicht nur dort, wo der Lavastrom bebaute Fluren überdeckt hat; ich nahm die fortdauernde Bildung dieses Salzes auch im Innern des großen Aetnakeraters wahr, wo gewiss an organische Substanzen, als der Quelle des Salmiaks, nicht zu denken ist¹). [Doch das Meerwasser mit seinem Gehalt an Organismen?]

Wenn man die Bildung des Eisenstickstoffs als eine allgemeinere Erscheinung bei Berührung der glühenden eisenhaltigen Laven mit Chlorwasserstoffsäure und Ammoniakgas (den Zersetzungspredicaten des in der Lava so verbreiteten Salmiaks) annehmen darf, so bietet sich zugleich in nothwendiger Folge jenes Prozesses eine wichtige Quelle von Wasserstoff dar, welcher im Verhältnis von drei Volum auf ein Vol. Stickstoff, der sich mit dem Eisen verbindet, frei wird²). Auf diesem Wege der Unter-

Schollen- und der Fladenlava (Zeitschr. d. deutsch. geol. Gesellsch. Bd. XXV, 1).

- 1) Man erinnere sich hier daran, dass der Stickstoff, wenngleich er sich nicht direct mit Wasserstoff verbindet, dennoch bei langdauernder Berührung mit Wasserdampf sich mit diesem vereinigen und salpeter saures Ammoniak bilden kann:



Auch an die Möglichkeit der directen Verbindung des Stickoxyds mit Wasserstoff im *Status nascentis* darf erinnert werden; $NO + H_2 = NH_3 O$, d. h. zu Hydroxylamin, dessen typische Formel $N \left\{ \begin{matrix} OH \\ H \\ H \end{matrix} \right.$

Es ist Ammoniak, in welchem 1 At. Wasserstoff durch Hydroxyl OH ersetzt ist. Diese intermediäre Verbindung wandelt sich unter Einfluss von Chlorwasserstoffsäure in der Wärme leicht um in Salmiak.

- 2) Vergl. Delanoue „*Le rôle des corps gazeux dans les phénomènes volcaniques.*“ *Bull. soc. geol. de France*, 2. Sér. t. XXVII, p. 635. In dieser interessanten Arbeit ist auf die wichtige Rolle hingewiesen, welche der Wasserstoff in den vulkanischen Prozessen spielt.

suchung gelangen wir zur Kenntniß von Thatsachen, welche für die Lösung der vulkanischen Probleme, die jetzt noch in Dunkel gehüllt, von Wichtigkeit sind.

Für das natürliche Vorkommen des Stickstoffeisens, welches durch diese Untersuchung zum ersten Mal nachgewiesen zu seyn scheint, gestatte ich mir den mineralogischen Namen „*Siderazot*“ vorzuschlagen.

XI. *Notiz über die Vergleichung von Distanzen nach dem Augenmaß; von Dr. H. Messer.*

Unter den in den letzten Jahren studirten Täuschungen des Augenmaßes ist eine der einfachsten, daß wir eine gerade Strecke, welche in mehrere Unterabtheilungen getheilt ist, für gröfsen halten, als eine gleiche nicht getheilte. Hering¹⁾ und Kundt²⁾ haben es versucht, diese Täuschung durch die Annahme zu erklären, daß die Grösse einer getheilten Strecke nach dem linearen Abstand ihrer Endpunkte auf der Netzhaut (Sehne) geschätzt werde.

Von anderen, z. B. Helmholtz³⁾, Zöllner⁴⁾, Aubert⁵⁾ sind gewichtige Einwände gegen diese Hypothese erhoben worden und wurden andere Erklärungen versucht.

Insbesondere sind von Aubert den messenden Versuchen Kundt's andere Versuche gegenübergestellt, welche viel grössere Schätzungsfehler ergaben.

1) Zur Lehre vom Ortssinne der Netzhaut S. 67 ff.

2) Pogg. Ann. Bd. CXX, S. 118 u. f.

3) Phys. Optik, S. 265 u. 566.

4) Ueber die Natur d. Kometen S. 389 u. 409.

5) Physiologie der Netzhaut S. 260 u. f.

Um nun zu entscheiden, ob die augenfällige Differenz zwischen den Versuchen Kundt's und Aubert's von etwaigen individuellen Verschiedenheiten der Augen der Beobachter oder ungleicher Uebung im Schätzen der Distanzen herrühre, oder ob dieselben nicht vielmehr durch die Verschiedenheit der Methoden der beiden Beobachter bedingt sey, habe ich eine Reihe von Messungen ausgeführt, deren Resultate ich, ohne auf die verschiedenen Erklärungen des Phänomens einzugehen, unten folgen lasse.

Es besteht nämlich in der That eine nicht unwesentliche Differenz zwischen den Beobachtungsmethoden von Kundt und Aubert. Während ersterer die Distanz von *Punkten* nach dem Augenmaafse gleichzumachen suchte, hat letzterer vielmehr die Distanz von parallelen *Linien*, also eigentlich die *Größe der von den Linien eingeschlossenen Flächen geschätzt*.

Ich habe für die Versuche eine der Kundt'schen¹⁾ ganz ähnliche Vorrichtung benutzt, und erst eine Reihe von Versuchen ausgeführt, bei welchen für das Auge nur die Spitzen des Stangenzirkels sichtbar waren und sodann eine Reihe von Versuchen, bei denen die ganzen Schenkel des Zirkels (30^{mm} hoch) gesehen wurden.

Es hat sich ergeben, dass in der That unter sonst gleichen Umständen der Fehler der Schätzung beträchtlich grösser wird, wenn die Distanzen von einander parallelen Linien (die verticalen Zirkelschenkel), als wenn die Abstände von Punkten (Zirkelspitzen) verglichen wurden.

Zum Belege dienen folgende Versuche:

Bezeichnen wir vier Punkte respective Linien (Spitzen oder Schenkel des Stangenzirkels) mit *A*, *B*, *C* und *E*, so wurde bei dem einen Versuche ein fünfter Punkt oder eine fünfte Linie *D* nach dem Augenmaafse so eingestellt, dass *AD = DE* erschien, bei der anderen Hälfte der Beobachtungen wurden *A*, *B*, *C* und *D* fixirt und *E* so eingestellt, dass *AD = DE* erschien.

1) Pogg. Ann. Bd. CXX, S. 128.

Erste Versuchsreihe.

$AB = BC = CD = 30\text{mm}$; es wurde E eingestellt;
 $AB = BC = 30\text{m}$; $AE = 180\text{mm}$; es wurde D eingestellt.

Der Fehler (f) betrug, wenn nur Zirkelspitzen gesehen wurden:

beim Beobachten mit dem rechten Auge	$f = 1,91$
" " " linken	$f = 1,93$
" " " beiden Augen	$f = 3,24$
	Mittel <u>2,03</u> .

Der Fehler der Schätzung (F) betrug, wenn die ganzen Zirkelschenkel gesehen wurden:

beim Beobachten mit dem rechten Auge	$F = 4,23$
" " " linken	$F = 4,94$
" " " beiden Augen	$F = 5,28$
	Mittel <u>4,82</u> .

Jede der angegebenen Zahlen sind das Mittel aus je 100 Beobachtungen und lag die getheilte Strecke bald rechts, bald links vom Beobachter. Die Entfernung des Stangen-zirkels vom Auge betrug stets 300mm.

Zweite Versuchsreihe.

Dieselben Bedingungen wie oben.

Zirkelspitzen:

$f = 1,91$	für das rechte
$= 2,18$	für das linke
$= 2,43$	für beide Augen
Mittel <u>2,17</u> ;	

bei ganzen Zirkelschenkeln:

$F = 4,75$	für das rechte
$= 5,06$	für das linke
$= 5,60$	für beide Augen
Mittel <u>5,14</u> .	

Dritte Versuchsreihe.

$AB = BC = 20\text{mm}$ $AE = 120\text{mm}$ wenn D ,

$AB = BC = CD = 120\text{mm}$ wenn E eingestellt wurde.

Bei Beobachtung mit beiden Augen ergab sich

$f = 1,88$
$F = 5,53$.

Vierte Versuchsreihe.

$AB = BC = CD = 40\text{mm}$ wenn E

$AB = BC = 40\text{mm}$, $AE = 240\text{mm}$ wenn D eingestellt wurde.

Es ergab sich bei Beobachtungen mit beiden Augen:

$$f = 2,6\text{mm}$$

$$F = 4,16.$$

Wie man sieht, ist F stets beträchtlich größer als f und es ergiebt sich gleichzeitig, daß das Verhältniß von F zu f wächst, wenn die Länge der beobachteten Linien im Verhältniß zu ihrem Abstand von einander größer wird; denn es ist:

$$\text{für } AE = 240\text{mm} \quad \frac{F}{f} = 1,60.$$

$$AE = 180\text{mm} \quad \frac{F}{f} = 2,37.$$

$$AE = 120\text{mm} \quad \frac{F}{f} = 2,94.$$

Strasburg, November 1875.

XII. Prophezeihung von Regen bei hohem Barometerstand mittelst des Spectroskops; von Hrn. Piazzi-Smyth.

(Arch. d. Sciences phys. 1875 Oct. p. 196, aus: *Nature* vom 22. und 29. Juli 1875.)

Der Verf. erzählt, daß, bei seiner Anwesenheit in der Pariser Akademie (7. Juli) Hr. Leverrier eine Periode trocknen Wetters ankündigte, gerade als kurz zuvor die schrecklichen Ueberschwemmungen im Süden begonnen hatten; der Schluss seines Vortrags lautete: Alle schlechten Anzeigen sind verschwunden, das Barometer steht hoch in England, und alle Wahrscheinlichkeiten kommen darin überein, schönes Wetter voraussehen zu lassen.

Dagegen wurde nach Hrn. Piazzi-Smyth das Wetter mit jedem Tage schlechter, finsterer und feuchter, und noch abscheulicher war es in London (14., 15., 16. Juli), wohin er sich begeben hatte. Dort in London sah er mittelst eines Taschenspectroskops, nach welcher Seite des Himmels er es auch wenden möchte, einen breiten dunklen Streifen, an der weniger brechbaren Seite von D und auf dieser Linie selbst. Dieser Streifen hatte eine solche In-

tensität, daß er der hauptsächlichste des Spectrums war, und obgleich er tellurischen Ursprungs war, unterschied er sich doch von den tellurischen Linien bei Sonnen-Untergang und bei gewöhnlichem Wetter. Als der Verf. London am 16. Juli verliess, konnte er sich überzeugen, daß dieser Streifen nicht von der absorbirenden Wirkung des Rauchs der Metropole herrührte, denn in dem Maasse als er sich von derselben entfernte, hörte der Regen auf, die Wolken nahmen ab und der Streifen auch. In York, wo der Boden trocken und das Wetter herrlich war, war bloß die Linie *D* mit größter Schärfe sichtbar.

Diese Beobachtung zeigt, daß der Regen begleitet war von der Erzeugung dunkler und nebliger Streifen im Spectrum des diffusen Lichts, obwohl das Barometer hoch stand.

Am Morgen des 17. war zu Edinburg das Wetter herrlich, die Atmosphäre durchsichtig und der Himmel blau, bei schwachem Südost-Wind. Eben so verhielt es sich am ganzen Tag, dennoch zeigte das kleine Taschen-Spectroskop die Linie *D* sieben Mal dicker als gewöhnlich und begleitet von dem schon erwähnten nebligen Streifen, jedesmal wenn es gegen einige im Norden nahe am Horizont sichtbare Wolken gerichtet ward; dagegen ließ es das gewöhnliche Spectrum sehen, wenn es etwas höher als diese Wolken gerichtet ward. Dies geschah 2 Uhr Nachmittags. Um 6 Uhr Abends, als das Barometer noch sehr hoch stand, bedeckte sich der Himmel ganz mit Wolken, und um 11 Uhr begann es zu regnen, die ganze Nacht, den andern und den folgenden Tag. Während der ganzen Zeit blieb das Barometer hoch und, mit Ausnahme der Linie *E*, verwandelten sich alle Linien in dunkle Streifen; der der Region *D* war der charakteristische.

Am 20. begannen diese anomalen Streifen abzunehmen und der Himmel obwohl noch trüb klärte sich auf. Am 21. und 22. war das Spectrum normal und das Wetter schön. Der 23. war regnig und das Spectrum normal, allein der Regen kam aus Westen, das Barometer war *niedrig* und die Temperatur ebenfalls. Diese spectroskopischen Phänomene scheinen also zusammenzuhängen mit einem warmen Regen bei Ostwind und hohem Barometerstand.